

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse)

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Energie (BFE)

Schlussbericht

31. Juli 2007

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Arbeitsgemeinschaft Ecoplan/Sigmaplan
Titel: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse)
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Energie BFE
Ort: Bern
Jahr: 2007
Bezug: BAFU

Begleitgruppe

Burkard Reto (BLW)
Gutzwiller Lukas (BFE)
Keller Marius (BAFU)
Megert Franziska (BFE)
Nauser Markus (BAFU)
Riedener Susanne (BAFU)
Roth Thomas (SECO)
Schädler Bruno (BAFU)
Schuler Christian (BAFU)

Projektteam

André Müller, Ecoplan (Projektleitung)
Ueli Roth, Sigmaplan
Frank Vöhringer, Ecoplan
Renger van Nieuwkoop, Ecoplan (CGE-Modellierung)

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

Ecoplan

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Thunstrasse 22
CH - 3005 Bern
Tel +41 31 356 61 61
Fax +41 31 356 61 60
bern@ecoplan.ch

Postfach
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
Fax +41 41 872 10 63
altdorf@ecoplan.ch

Sigmaplan

www.sigmaplan.ch

Thunstrasse 91
CH – 3006 Bern
Tel +41 31 356 65 65
Fax +41 31 356 65 60
mail@sigmaplan.ch

Inhaltsübersicht

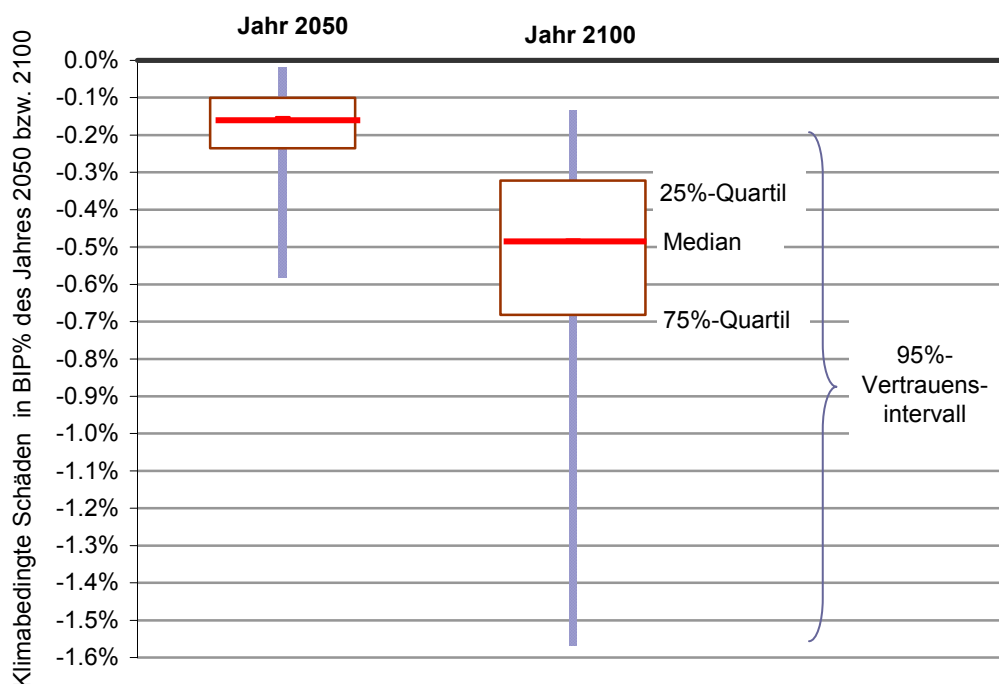
	Das Wichtigste auf zwei Seiten.....	2
	Inhaltsverzeichnis	4
	Abkürzungsverzeichnis	6
	Kurzfassung.....	7
	Résumé	16
1	Einleitung und Ziel	25
2	Umfeld und Begrifflichkeiten	27
3	Globale Schadenskosten	33
4	Klima- und Entwicklungsszenarien Schweiz	36
5	Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz	44
6	Schadenskosten des Klimawandels in der Schweiz	62
7	Schadenskosten für die Schweiz im Überblick.....	147
	Literaturverzeichnis	171

Das Wichtigste auf zwei Seiten

Das Ziel des vorliegenden Ecoplan-Berichts ist die Abschätzung der direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft. Welche Auswirkungen der Schweiz aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten erwachsen, wird in einer parallelen Studie durch die Arbeitsgemeinschaft Infrac / Ecologic / Rütter+Partner analysiert. Einzig bei den Kosten im Tourismus wurde in dieser Studie die Verflechtung über die internationalen Märkte berücksichtigt.

Klimabedingte Folgeschäden sind bis 2050 moderat und steigen bis 2100 deutlich an

Bis 2030 sind kaum klimabedingte Schäden grösseren Ausmasses zu erwarten. Die nachfolgend ausgewiesenen klimabedingten Schäden sind jährliche Schäden. Bis zum Jahr 2050 steigt der mittlere Erwartungsschaden auf 0.15 BIP% pro Jahr (Schaden in % des BIP im Jahre 2050, vgl. Grafik). Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und äussert sich in einer relativ grossen Bandbreite der möglichen Schäden: Schadensmaximum bis knapp 0.6 BIP%.



Die Schadenskosten steigen nach 2050 deutlich an. Der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 liegt bei 0.48 BIP% (Schaden in % des BIP im Jahre 2100). Zu beachten ist die riesige Bandbreite der möglichen Schadensentwicklung. Im Jahr 2100 reicht die Bandbreite der möglichen Schäden von bescheidenen 0.15 BIP% bis zu massiven Schäden von knapp 1.6 BIP%. Die Unsicherheit der klimabedingten Schäden kann zu mehr als 40% auf die unsichere Temperaturentwicklung zurückgeführt werden. Die restlichen 60% ergeben sich aus den unsicheren Monetarisierungsannahmen. Betrachtet man die gesamte Periode von 2005 bis 2100, so berechnet sich der durchschnittlich jährlich zu erwartende Schaden (Median) auf rund 1 Mrd. CHF (zu heutigen Preisen und einer Diskontrate von 2%).

Tourismus und Energiebereich am meisten von Klimaänderung betroffen

Der mittlere Erwartungsschaden ist im *Energiebereich* am grössten, dies trotz den positiven Effekten aufgrund von wärmeren Wintern und weniger Heizenergiebedarf (vgl. Grafik 1-4). Für die negativen Auswirkungen im Energiebereich sind vor allem die Verluste bei der Stromproduktion in Wasserkraftwerken und die vermehrte Klimatisierung im Wohn- und Arbeitsbereich verantwortlich. Die stark steigenden Ausgaben für die Klimatisierung sind als Anpassungskosten zu verstehen, die verhindern, dass vor allem im Bereich der menschlichen Gesundheit nicht grössere Schäden entstehen. Der mittlere Erwartungsschaden im *Tourismusbereich* liegt zwar unter demjenigen für Energie, aber die Bandbreite der Unsicherheit ist grösser. Im Tourismusbereich ist zu erwähnen, dass die Anpassungskosten und auch die positiven Auswirkungen aufgrund der verbesserten internationalen Standortattraktivität im Sommertourismus nicht berücksichtigt wurden. Im Bereich der *menschlichen Gesundheit* (klimabedingte vorzeitige Sterbefälle und Leistungseinbussen im Arbeitsprozess) sind erst nach dem Jahr 2050 spürbare Schäden zu erwarten. Allerdings nehmen diese dann bis zum Jahr 2100 relativ rasch zu. Der erwartete Schaden bei den *Bauten und der Infrastruktur* ist vor allem auf Hochwasser/Überschwemmungen und Murgänge zurückzuführen und ist im Vergleich zu den anderen Schadensbereichen aber gering.

Grosse Umwälzung trotz relativ moderaten klimabedingten Schäden

Die durchschnittlich zu erwartenden Schäden sind zwar moderat. Dies darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass erstens eine beträchtliche Unsicherheit besteht und dass zweitens - trotz moderater Schäden - beträchtliche klimabedingte Umwälzungen in einzelnen Wirtschaftssektoren folgen werden (u.a. Umgestaltung der Stromproduktion, Neuorientierung im Tourismusbereich). Werden die nötigen Anpassungsmassnahmen nicht oder verzögert vorgenommen (bspw. Strukturerhaltung), so werden die volkswirtschaftlichen Schäden höher ausfallen.

Für die Schweiz ist die Klimaänderung wirtschaftlich verkraftbar – für eine Klimapolitik aus Schweizer Sicht stehen andere Motive im Vordergrund

Die zu erwartenden direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft sind bis zum Jahr 2050 relativ moderat, steigen danach aber relativ kräftig an. Für die Schweiz ist die Klimaänderung bei einer entsprechenden Anpassungsstrategie wirtschaftlich verkraftbar. Die Motivation für eine Schweizer Klimapolitik muss sich daher – neben der „eigennützigen“ Schadensvermeidung im eigenen Lande - aus unserer Sicht vor allem auf die folgenden drei Punkte stützen: (1) „Absicherung / Versicherung“: Die Unsicherheiten bzgl. den Auswirkungen der Klimaänderungen sind gross, katastrophale Entwicklungen (globale Kippeffekte) sind zwar unwahrscheinlich, aber nicht ganz auszuschliessen. Eine wirksame Klimapolitik kann als „Versicherung“ gegen solche Ereignisse motiviert sein. (2) Internationale Gerechtigkeit: Die Klimaänderung betrifft die ärmsten Länder am meisten. Verursacher der Klimaänderung sind vor allem die heutigen und aufstrebenden Industrieländer. Klimapolitik kann einen Beitrag zu einer „gerechteren“ Welt leisten. (3) Intergenerationelle Gerechtigkeit: Heutiges Wirtschaften kann die Möglichkeiten künftiger Generationen einschränken. Klimapolitik kann auch unter diesem Aspekt motiviert sein.

Inhaltsverzeichnis

	Das Wichtigste auf zwei Seiten.....	2
	Inhaltsverzeichnis	4
	Abkürzungsverzeichnis	6
	Kurzfassung.....	7
	Résumé	16
1	Einleitung und Ziel	25
2	Umfeld und Begrifflichkeiten	27
2.1	Schadens-, Anpassungs- und Vermeidungskosten.....	27
2.2	Gesamter Schaden vs. Grenzscha den	29
2.3	Diskontrate	29
2.4	Umgang mit Unsicherheit.....	31
3	Globale Schadenskosten	33
4	Klima- und Entwicklungsszenarien Schweiz	36
4.1	Klimaszenarien und Extremereignisse Schweiz	36
4.2	Entwicklungsszenarien Schweiz	40
5	Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz	44
6	Schadenskosten des Klimawandels in der Schweiz	62
6.1	Priorisierung und Überblick über die untersuchten Bereiche.....	62
6.2	Methodik der Schadenskostenermittlung.....	64
6.3	Tourismus.....	65
6.4	Bauten und Infrastruktur.....	90
6.5	Energie	109
6.6	Menschliche Gesundheit.....	132
6.7	Wasserwirtschaft	143
6.8	Landwirtschaft	144
6.9	Wald	145

6.10	Nicht berücksichtigte Effekte	145
7	Schadenskosten für die Schweiz im Überblick.....	147
7.1	Klimabedingter Gesamtschaden	147
7.1.1	Klimabedingter Gesamtschaden für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100	147
7.1.2	Kumulierter klimabedingter Gesamtschaden für 2005 bis 2100	151
7.2	Grenzschadenskosten	154
7.2.1	Grenzschadenskosten pro Grad globaler Temperaturerhöhung	154
7.2.2	Grenzschadenskosten pro Tonne CO ₂ bzw. C (illustrativ).....	160
7.3	Zusammenfassende Würdigung	166
7.3.1	Wichtigste Erkenntnisse	166
7.3.2	Nicht berücksichtigte und zu vertiefende Aspekte	168
	Literaturverzeichnis	171

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BIP	Bruttoinlandprodukt
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie
C	Kohlenstoff ($C = CO_2 / 44 \cdot 12$)
CHF	Schweizer Franken
CO ₂	Kohlendioxid ($CO_2 = C \cdot 44 / 12$)
DL	Dienstleistungen
EBF	Energiebezugsfläche
FIF	Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus
GTAP	Global Trade Analysis Project, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/
GWh	Gigawattstunden
HGT	Heizgradtage
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLIWA	Kooperationsvorhaben "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft"
KOHS	Kommission Hochwasserschutz im Schweiz. Wasserwirtschaftsverband
kWh	Kilowattstunden
LW	Landwirtschaft
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NFP31-Studie	Studie von Meier R. (1998), Soziökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz
OcCC	Organe consultatif sur les changements climatiques Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung
OcCC-Bericht	Bericht der OcCC (2007), Klimaänderung und die Schweiz 2050.
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PJ	Petajoule
ProClim	Forum for Climate and Global Change, Forum of the Swiss Academy of Sciences
Rp.	Rappen
SRES	Special Report on Emissions Scenarios der IPCC
STV	Schweizer Tourismus-Verband
Sz	Szenario
TTA	Touristische Transportanlagen
VÄ	Vollzeitäquivalent
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, ein Institut des ETH-Bereichs
WWF	World Wildlife Fund

Kurzfassung

Das Ziel des vorliegenden Ecoplan-Berichts ist die Abschätzung der direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft. Welche Auswirkungen der Schweiz aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten erwachsen, wird in einer parallelen Studie durch die Arbeitsgemeinschaft Infrast / Ecologic / Rütter+Partner analysiert. Einzig bei den Kosten im Tourismus wurde in dieser Studie die Verflechtung über die internationalen Märkte berücksichtigt.

Vorgehen und Methodik

Im Rahmen dieser Studie werden die klimabedingten Schäden in vier Lebens- und Wirtschaftsbereichen detailliert analysiert und monetarisiert. Die schleichende Klimaänderung wird vor allem in den Bereichen «Tourismus» sowie «Energie» zu Schäden führen. Die Bereiche «Bauten und Infrastruktur» sowie «menschliche Gesundheit» sind dagegen von den vermehrt eintretenden Extremereignissen betroffen, insbesondere von Hochwasser, Murgängen und Hitzeperioden.

Für die Bereiche Landwirtschaft, Wald und Wasserwirtschaft wurden nur qualitative Aussagen gemacht. Es darf aber vermutet werden, dass in diesen Bereichen, die klimabedingten Schäden – zumindest bis zum Jahr 2050 – nicht von grosser Bedeutung sind.

Nicht berücksichtigt wurde das Risiko globaler Kippeffekte (bspw. starke Abschwächung der nordatlantischen Zirkulation) sowie lokaler Grosskatastrophen. Auch das veränderte Landschaftsbild (Rückgang der Gletscher) sowie die Auswirkungen auf die Ökosysteme wurden nicht monetär bewertet. Weiter gehen die folgenden Berechnungen zu den klimabedingten Schäden für die Schweiz davon aus, dass die notwendigen Anpassungsstrategien zur Verminderung der negativen Auswirkungen rechtzeitig eingeleitet werden. Welche Hindernisse sich hier ergeben, wurde nicht thematisiert.

In den vier monetarisierten Bereichen berechnen wir – mit Ausnahme des Tourismusbereichs – nur die direkten Schadenskosten (vgl. Tabelle 1). Bei diesen direkten Schadenskosten wird vernachlässigt, dass der klimabedingte Schaden den Preis beeinflussen kann, bspw. den Strompreis oder die Höhe der Versicherungsprämien (partieller Gleichgewichtseffekt). Weiter können Veränderungen in einem Markt (bspw. dem Strommarkt) weitere Märkte beeinflussen (genereller Gleichgewichtseffekt). Diese indirekten Auswirkungen wurden in den Bereichen Bauten und Infrastruktur, Energie und menschliche Gesundheit nicht berücksichtigt. Im Bereich Tourismus wurden sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen berücksichtigt. Dagegen wurden im Tourismus keine zusätzlichen Anpassungskosten berücksichtigt und auch die verbesserte internationale Standortattraktivität im Sommertourismus wurde nicht monetarisiert. Im Unterschied zu den anderen Bereichen wurde im Tourismus (v.a. in Bezug auf den Wintertourismus) auch die internationale wirtschaftliche Verflechtung miteinbezogen. Methodisch nicht berücksichtigt werden die klimabedingten Auswirkungen auf das Investitionsverhalten (Wachstumseffekte).

Die berechneten klimabedingten Schäden setzen sich in der Regel zusammen aus den Anpassungskosten (bspw. für Klimatisierung) und den verbleibenden – durch Anpassungsmassnahmen nicht vermeidbaren – Schäden. Die Bestimmung, welche Anpassungskosten wirklich klimabedingt und somit zusätzlich sind, ist nicht immer eindeutig (bspw. Anpassungsmassnahmen beim Hochwasser). Auch konnte ein Teil der Anpassungskosten nicht erfasst werden (bspw. im Tourismus). Andererseits wurden positive klimabedingte Auswirkungen, wie bspw. die höhere Standortattraktivität im Sommertourismus oder die längere Vegetationsperiode in der Landwirtschaft), ebenfalls nicht monetarisiert.

Tabelle 1: Methoden zur Monetarisierung in den vier Schadensbereichen

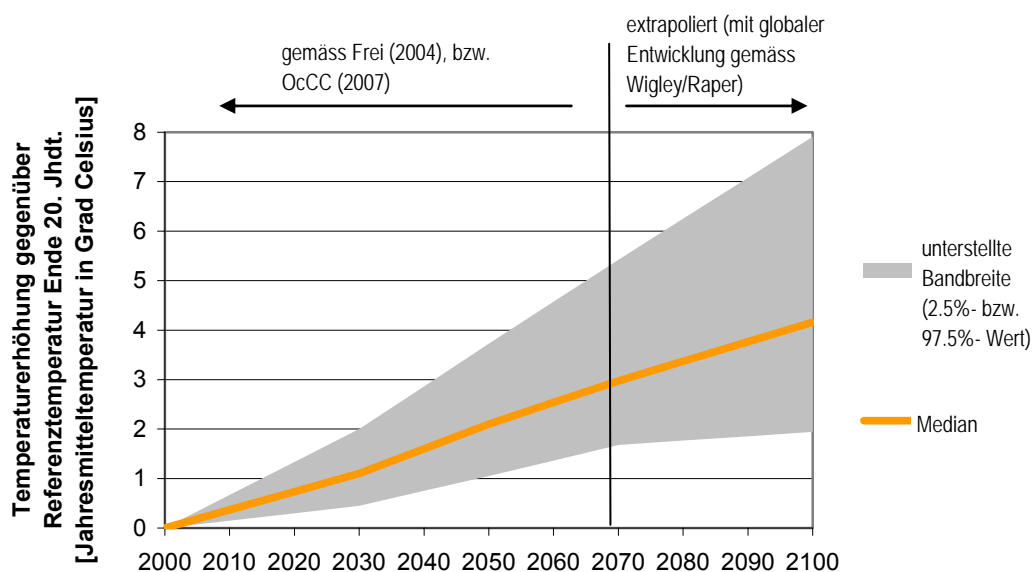
Lebens- und Wirtschaftsbereich	Vorgehen	Direkte Schadenskosten	Direkte und indirekte Schadenskosten
Tourismus	Statisches Mehrländer-Gleichgewichtsmodell mit Disaggregation im (Winter)tourismus		X Verlust an Konsum- und Freizeitmöglichkeiten
Bauten und Infrastruktur			
- Hochwasser	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit des Hochwasserereignisses 1999	X	
- Murgänge	Grobe Experteneinschätzung	X	
Energie			
- Stromproduktion Wasserkraft	Verminderte Stromproduktion in Wasserkraftwerken aufgrund Rückgang der Niederschläge und Abflussmengen, bewertet mit künftigem von Energiepolitik und zur Verfügung stehenden Technologien abhängigem Stromproduktionspreis	X	
- Klimatisierung	Erhöhter Stromverbrauch für Klimatisierung, bewertet mit künftigem Stromproduktionspreis	X	
- Heizung	Verminderter Heizenergiebedarf, bewertet mit künftigem Preis für Heizenergieträgermix	X	
Menschliche Gesundheit			
- Leistungseinbussen	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit eines Hitzesommers 2003, verminderte Arbeitsproduktivität an Outdoor-Arbeitsplätzen	X	
- erhöhte Mortalität	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit eines Hitzesommers 2003 (Zunahme der Mortalität bei den über 60-Jährigen)	X (nicht marktliche Auswirkungen)	

Bei der zugrunde gelegten klimatologischen Entwicklung (Temperatur und Niederschläge) sowie bei den Ansätzen für die Monetarisierung der Schäden bzw. Anpassungskosten gibt es sehr grosse Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten wurden im Rahmen einer so genannten Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt, so dass abgeschätzt werden kann, in welcher Bandbreite sich der zu erwartende klimabedingte Schaden bewegt.

Die Klimazukunft der Schweiz

Die mögliche Entwicklung bzgl. Temperatur und Niederschläge wurde gemäss den Annahmen des OcCC-Berichts (2007) „Klimaänderung und die Schweiz 2050“ unterstellt. Die Jahresmitteltemperaturen nehmen dabei bis 2100 um über 4°C zu (Median, vgl. Grafik 1-1). Die Werte ab 2070 mussten dabei grob extrapoliert werden, da hierzu keine Berechnungen vorlagen. Zu beachten ist, dass die Bandbreite der möglichen Temperaturentwicklung relativ gross ist.

Grafik 1-1: Entwicklung der Zunahme der Jahresmitteltemperatur für die Schweiz

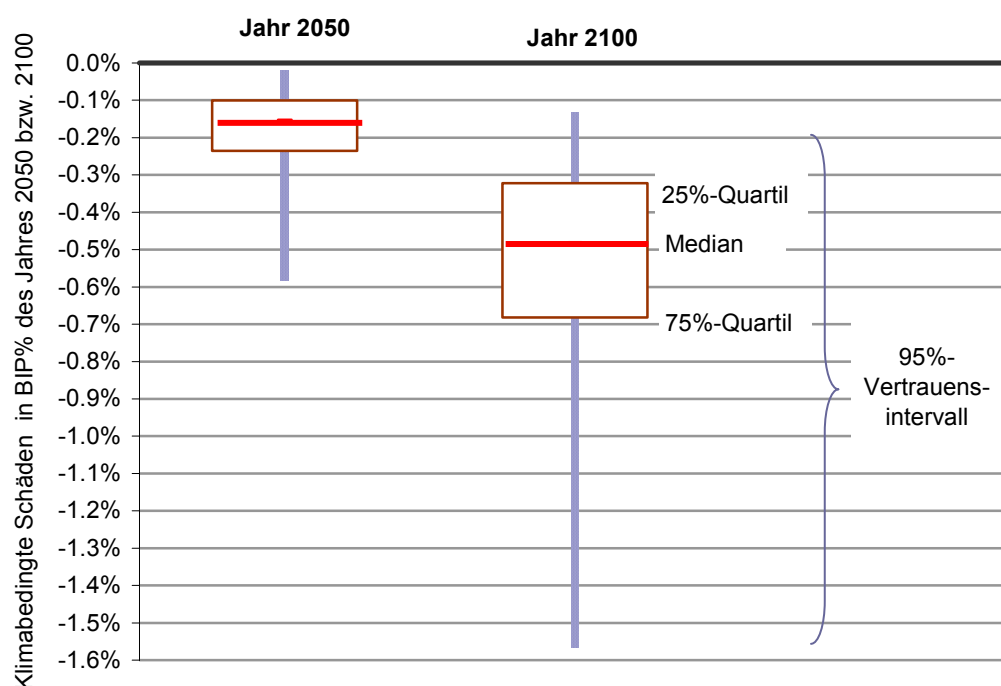


Die klimabedingten Gesamtschäden in der Schweiz

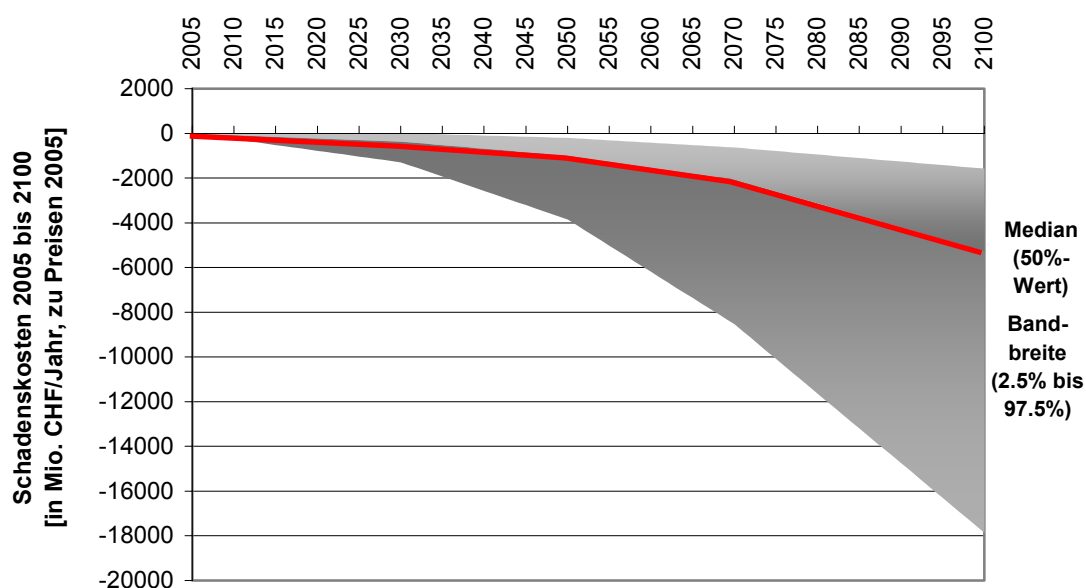
Klimabedingte Folgeschäden sind bis 2050 moderat und steigen bis 2100 deutlich an

Bis 2030 sind kaum klimabedingte Schäden grösseren Ausmasses zu erwarten. Die nachfolgend ausgewiesenen klimabedingten Schäden sind jährliche Schäden. Bis zum Jahr 2050 steigt der mittlere Erwartungsschaden auf 0.15 BIP% pro Jahr (Schaden in % des BIP im Jahre 2050, vgl. Grafik). Die Schadenskosten steigen nach 2050 deutlich an. Der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 liegt bei 0.48 BIP% pro Jahr (Schaden in % des BIP im Jahre 2100).

Grafik 1-2: Schadenskosten der Klimaänderung für die Jahre 2050 und 2100



Die obige Darstellung zeigt die Schäden als % des BIP, setzt die klimabedingten Schäden also in einen Kontext, der eine Einordnung der Grössenordnung der Schäden erlaubt. Teilweise werden in internationalen Studien auch absolute Schäden, also Schäden in Mio. CHF, berechnet und kommuniziert. Die klimabedingten Schadenskosten sind bis 2030 nicht nur in BIP%, sondern auch in Mio. CHF moderat (vgl. Grafik 1-3): Für das Jahr 2030 rechnen wir mit einem klimabedingten Erwartungsschaden von ungefähr 350 Mio. CHF (Median, nicht diskontiert), die Bandbreite reicht von keinen Schäden bis 1'300 Mio. CHF (95%-Vertrauensintervall). Für das Jahr 2050 werden Schäden im Umfang von 1000 Mio. CHF (Median, nicht diskontiert) erwartet, mit einer Bandbreite von 200 bis 3700 Mio. CHF. Deutlich grössere Schäden sind nach dem Jahr 2050 zu erwarten: Bis 2100 wachsen die Schäden auf 5300 Mio. CHF (Median, nicht diskontiert), mit einem sehr grossen Unsicherheitsbereich von 1600 bis knapp 18'000 Mio. CHF.

Grafik 1-3: Verlauf der jährlichen Schadenskosten (Median und Bandbreite) 2005 bis 2100

Betrachtet man die gesamte Periode von 2005 bis 2100, so berechnet sich der durchschnittlich jährlich zu erwartende Schaden (Median) auf rund 1 Mrd. CHF (zu heutigen Preisen) – dies bei einer Diskontrate von 2%.

Grosse Unsicherheit bei der Berechnung der Schäden

Die Unsicherheit bei der Berechnung der Folgeschäden ist beträchtlich und äusserst sich in einer relativ grossen Bandbreite der möglichen Schäden: Für das Jahr 2050 reicht die Bandbreite von Nahe 0 bis zu einem Schadensmaximum von knapp 0.6 BIP%. Im Jahr 2100 reicht die Bandbreite der möglichen Schäden von bescheidenen 0.15 BIP% bis zu massiven Schäden von knapp 1.6 BIP%. Die Unsicherheit der klimabedingten Schäden kann zu mehr als 40% auf die unsichere Temperaturentwicklung zurückgeführt werden. Die restlichen 60% ergeben sich aus den unsicheren Monetarisierungsannahmen.

Die klimabedingten Schäden in den einzelnen Bereichen

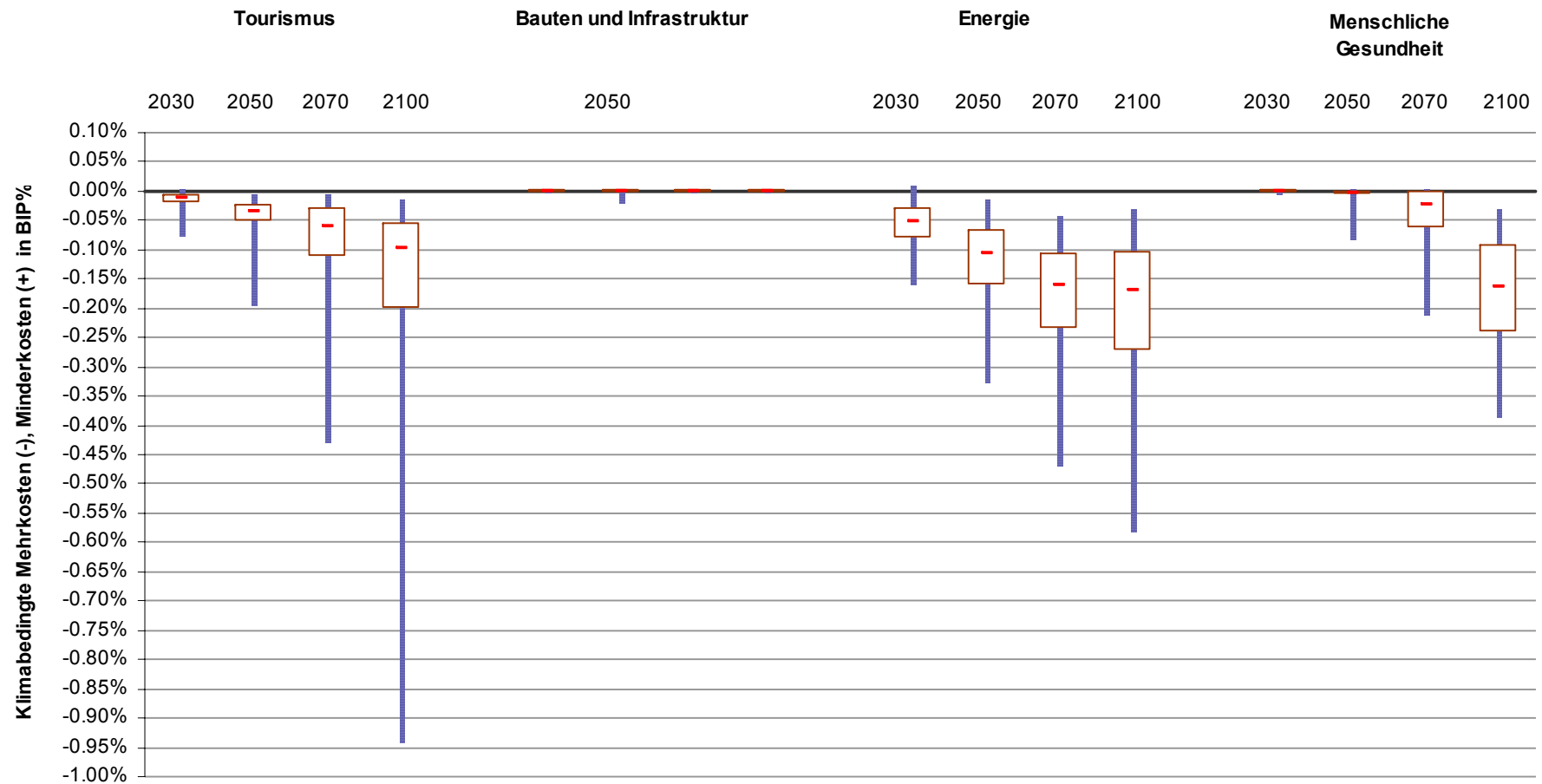
Tourismus und Energiebereich am meisten von Klimaänderung betroffen

Der mittlere Erwartungsschaden ist im *Energiebereich* am grössten, dies trotz den positiven Effekten aufgrund von wärmeren Wintern und weniger Heizenergiebedarf (vgl. Grafik 1-4). Für die negativen Auswirkungen im Energiebereich sind vor allem die Verluste bei der Stromproduktion in Wasserkraftwerken und die vermehrte Klimatisierung im Wohn- und Arbeitsbereich verantwortlich. Die stark steigenden Ausgaben für die Klimatisierung sind als Anpassungskosten zu verstehen, die verhindern, dass vor allem im Bereich der menschlichen Gesundheit nicht grössere Schäden entstehen. Der mittlere Erwartungsschaden im *Tourismusbereich* liegt zwar unter demjenigen für Energie, aber die Bandbreite der Unsicherheit ist grösser. Im Tourismusbereich ist zu erwähnen, dass die Anpassungskosten und auch die positiven Auswirkungen aufgrund der verbesserten internationalen Standortattraktivität im Sommertourismus nicht berücksichtigt wurden. Im Bereich der *menschlichen Gesundheit* (klimabedingte vorzeitige Sterbefälle und Leistungseinbussen im Arbeitsprozess) sind erst nach dem Jahr 2050 spürbare Schäden zu erwarten. Allerdings nehmen diese dann bis zum Jahr 2100 relativ rasch zu. Der erwartete Schaden bei den *Bauten und der Infrastruktur* ist vor allem auf Hochwasser/Überschwemmungen und Murgänge zurückzuführen und ist im Vergleich zu den anderen Schadensbereichen aber gering.

Grosse Umwälzung trotz relativ moderaten klimabedingten Schäden

Die durchschnittlich zu erwartenden Schäden sind zwar moderat. Dies darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass erstens eine beträchtliche Unsicherheit besteht und dass zweitens - trotz moderater Schäden - beträchtliche klimabedingte Umwälzungen in einzelnen Wirtschaftssektoren folgen werden (u.a. Umgestaltung der Stromproduktion, Umgestaltung und Neuorientierung im Tourismusbereich). Werden die nötigen Umgestaltungen und Neuorientierung nicht oder verzögert vorgenommen (bspw. Strukturerhaltung), so werden die volkswirtschaftlichen Schäden höher ausfallen.

Grafik 1-4: Schadenskosten der Klimaänderung für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100 nach den wichtigsten Bereichen

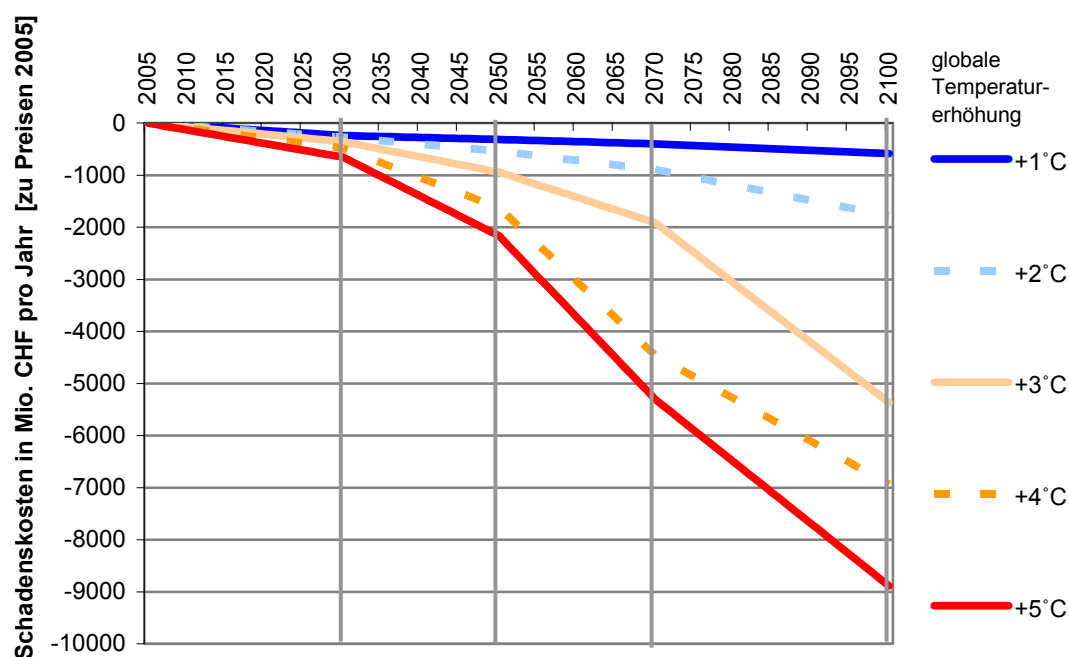


Die Wirkung einer global koordinierten Klimapolitik auf die Schäden in der Schweiz

Ein Teil der klimabedingten Schäden lässt sich nicht mehr vermeiden

Ein gewisses Mass der Klimaänderung ist nach heutigem Erkenntnisstand bereits unvermeidlich. Selbst wenn die heutigen Treibhausgasemissionen auf dem Stand des Jahres 2000 „eingefroren“ würden, rechnet man global mit einem Temperaturanstieg bis 2100 von über 0.5°C. Eine vermutlich nicht mehr vermeidbare globale Temperaturerhöhung von bis zu 2°C führt in der Schweiz noch zu relativ moderaten klimabedingten Schäden (vgl. Grafik 1-5). Bei globalen Temperaturerhöhungen über 2°C steigen allerdings auch die klimabedingten Schäden in der Schweiz stark an.

Grafik 1-5: Verlauf der Schadenskosten (Median) der Schweiz in Abhängigkeit der globalen Temperaturerhöhung



Eine griffige, global koordinierte Klimapolitik spart der Schweiz Schäden im Umfang von 0.6 bis 1 Mrd. CHF pro Jahr und pro Grad vermiedene globale Temperaturerhöhung

Die grössten zusätzlichen Schäden sind für die Schweiz bei einer Erhöhung der globalen Temperatur bis 2100 von +2°C auf +3°C bzw. von +3°C auf +4°C zu erwarten. Die grössten Schäden – im Umfang von durchschnittlich jährlich rund 0.6 Mrd. CHF (bei einer Diskontrate von 2%, für die Periode 2005 bis 2100) - entstehen also in der Schweiz gerade in denjenigen Temperaturbereichen, von denen man sich erhofft, dass diese durch eine griffige, global koordinierte Klimapolitik vermieden werden können. Unterstellt man eine Diskontrate von 0% (statt 2%), so liegen die klimapolitisch vermeidbaren durchschnittlichen Schäden statt bei 0.6

Mrd. CHF/Jahr bei rund 1 Mrd. CHF/Jahr pro Grad weniger Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100. Vereinfachend darf man also sagen, dass eine griffige Klimapolitik pro Grad vermiedene globale Erwärmung der Schweiz Schäden in der Grössenordnung von 0.6 bis 1.0 Mrd. CHF/Jahr erspart.

Schlussfolgerung

Für die Schweiz ist die Klimaänderung wirtschaftlich verkraftbar – andere Motive stehen im Vordergrund

Die zu erwartenden direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft sind bis zum Jahr 2050 relativ moderat, steigen danach aber relativ kräftig an. Für die Schweiz ist die Klimaänderung bei einer entsprechenden Anpassungsstrategie wirtschaftlich verkraftbar. Die Motivation für eine Schweizer Klimapolitik muss sich daher – neben der „eigennützigen“ Schadensvermeidung im eigenen Lande - aus unserer Sicht vor allem auf die folgenden drei Punkte stützen: (1) „Absicherung / Versicherung“: Die Unsicherheiten bzgl. den Auswirkungen der Klimaänderungen sind gross, katastrophale Entwicklungen (globale Kippeffekte) sind zwar unwahrscheinlich aber nicht ganz auszuschliessen. Eine wirksame Klimapolitik kann als „Versicherung“ gegen solche Ereignisse motiviert sein. (2) Internationale Gerechtigkeit bzw. allgemeiner internationale Verteilung: Die Klimaänderung betrifft die ärmsten Länder am meisten. Verursacher der Klimaänderung sind vor allem die heutigen und aufstrebenden Industrieländer. Klimapolitik kann einen Beitrag zu einer „gerechteren“ Welt leisten. (3) Intergenerationelle Gerechtigkeit bzw. allgemeiner intergenerationelle Verteilung: Heutiges Wirtschaften kann die Möglichkeiten künftiger Generationen einschränken. Klimapolitik kann auch unter diesem Aspekt motiviert sein.

Résumé

Le but du présent rapport Ecoplan est d'estimer les conséquences directes et indirectes, pour l'économie nationale, des changements climatiques affectant la Suisse. Les conséquences découlant pour la Suisse de son intégration aux marchés internationaux des facteurs de production et des biens sont analysées dans une étude parallèle par la communauté de travail Infras / Ecologic / Rütter+Partner. Le présent rapport ne prend en compte les interdépendances liées aux marchés internationaux que pour les coûts du domaine du tourisme.

Démarche et méthodologie

L'étude a monétisé et analysé de manière détaillée les dommages liés au climat dans quatre domaines de la vie et de l'économie. Les changements climatiques progressifs provoqueront des dommages en premier lieu dans les domaines « tourisme » et « énergie ». Les domaines « bâtiments et infrastructures » ainsi que « santé humaine » seront quant à eux surtout affectés par l'accroissement de la fréquence des événements extrêmes, notamment les crues, les laves torrentielles et les canicules.

Pour les domaines de l'agriculture, de la forêt et de l'économie des eaux, seuls des énoncés qualitatifs ont été formulés. On peut cependant supposer que les dommages liés au climat ne seront pas importants dans ces secteurs, du moins jusqu'en 2050.

Le risque de bifurcation climatique mondiale (par exemple un net affaiblissement des courants de l'Atlantique Nord) n'a pas été pris en compte ici, ni d'ailleurs le risque de grande catastrophe locale. Les modifications du paysage (recul des glaciers) et les conséquences sur les écosystèmes n'ont pas été estimées en valeurs monétaires. En outre, les calculs ci-dessous concernant les dommages dus au climat en Suisse partent de l'hypothèse que les stratégies d'adaptation nécessaires pour réduire les conséquences négatives auront été mises en place suffisamment tôt. La question des obstacles qui devront être surmontés à cette fin n'est pas abordée ici.

Dans les quatre domaines monétisés, nous ne calculons que les dommages directs, sauf pour le secteur touristique (voir Tabelle 1). Les coûts directs ne tiennent pas compte du fait que les dommages dus au climat peuvent influencer les prix, par exemple le prix de l'électricité ou le niveau des primes d'assurances (effet d'équilibre partiel). En outre, les changements qui affectent un marché (par exemple celui de l'électricité) peuvent influencer d'autres marchés (effet d'équilibre général). Ces conséquences indirectes n'ont pas été prises en compte dans les domaines « bâtiments et infrastructure », « énergie » et « santé humaine ». Dans le domaine du tourisme, on a tenu compte des effets directs et indirects. En revanche, aucun coût d'adaptation supplémentaire n'a été intégré. L'amélioration de l'attractivité du site au plan international pour le tourisme estival n'a pas été monétisée. Pour le secteur touristique, contrairement à ce qui a été fait pour les autres domaines, les interdépendances économiques internationales ont été prises en compte (surtout celles concernant le tourisme hivernal). La méthodologie utilisée ne tient pas compte des conséquences du climat sur le comportement d'investissement (effet de croissance).

Tableau 2: Méthodes de monétisation dans les quatre domaines de dommages

Domaines (vie et économie)	Démarche	Coûts directs des dommages	Coûts directs et indirects des dommages
Tourisme	Modèle d'équilibre statique incluant plusieurs pays avec désagrégation dans le domaine du tourisme (hivernal)		X Perte de possibilités de consommation et de loisirs
Bâtiments et infrastructures			
- Crues	Probabilité accrue d'occurrence d'un épisode de crues comme en 1999	X	
- Laves torrentielles	Estimation grossière par des experts	X	
Énergie			
- Production hydro-électrique	Production d'électricité réduite dans les centrales hydroélectriques en raison du recul des précipitations et des débits; estimée sur la base du prix de production futur tenant compte de la politique énergétique et des technologies disponibles	X	
- Climatisation	Consommation accrue d'électricité pour la climatisation; estimée sur la base du prix futur de production d'électricité	X	
- Chauffage	Réduction des besoins en énergie de chauffage, estimée sur la base du prix futur du mélange d'agents énergétiques de chauffage	X	
Santé humaine			
- Pertes d'aptitudes fonctionnelles	Probabilité accrue d'occurrence d'une canicule comme en 2003, baisse de la productivité du travail pour les emplois en plein air	X	
- Hausse de la mortalité	Probabilité accrue d'occurrence d'une canicule comme en 2003 (augmentation de la mortalité des personnes de plus de 60 ans)	X (conséquences hors marchés)	

Les dommages dus au climat calculés ici se composent en général des coûts d'adaptation (par exemple pour la climatisation) et des dommages qui ne peuvent être évités par des mesures d'adaptation. Il n'est pas toujours possible de déterminer de manière univoque quels coûts d'adaptation sont vraiment dus au climat (par exemple pour les mesures concernant les crues). De plus, une partie des coûts d'adaptation n'a pas pu être établie (par exemple dans le tourisme). Les conséquences positives des changements climatiques – amélioration

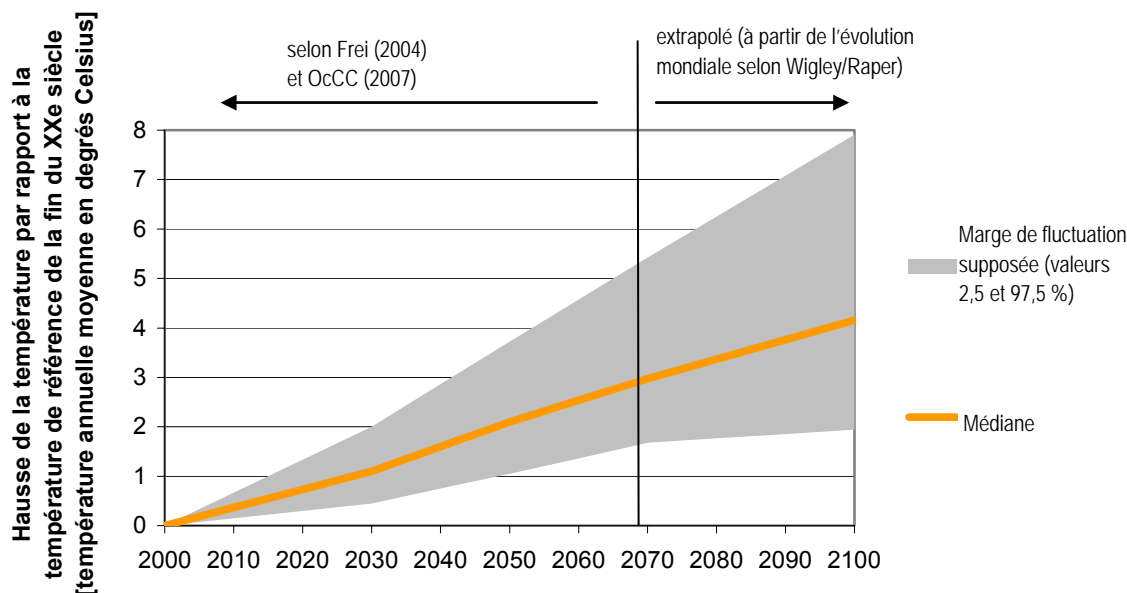
de l'attractivité de la Suisse pour le tourisme estival ou prolongation de la période de végétation dans l'agriculture, notamment – n'ont pas été monétisées non plus.

De très grandes incertitudes entachent le scénario d'évolution climatologique utilisé comme référence (température et précipitations), ainsi que les approches servant à monétiser les dommages et les coûts d'adaptation. Ces incertitudes ont été prises en compte en appliquant la méthode de simulation de Monte Carlo, si bien que l'on peut estimer la fourchette dans laquelle devraient se situer les dommages liés au climat.

L'avenir climatique de la Suisse

L'évolution possible des températures et des précipitations a été définie conformément aux hypothèses du rapport de l'OcCC (2007) « Les changements climatiques et la Suisse en 2050 ». Selon ces projections, les températures annuelles moyennes augmentent de plus de 4 °C d'ici à 2100 (médiane, voir Grafik 1-1). À partir de 2070, les valeurs doivent être extrapolées assez grossièrement, parce qu'aucun calcul n'est disponible. Il convient de mentionner que la marge de fluctuation des températures possibles est relativement large.

Figure 6: Évolution de la hausse des températures moyennes annuelles pour la Suisse

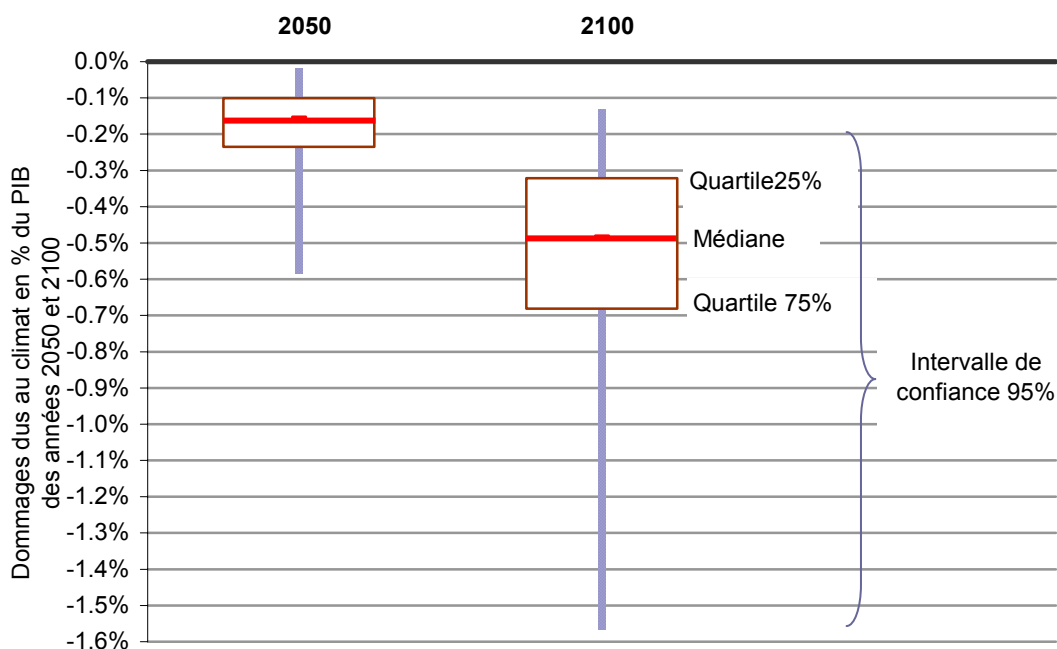


Ensemble des dommages causés par le climat en Suisse

Les dommages dus au climat restent modérés avant 2050, mais augmentent nettement jusqu'en 2100

Jusqu'en 2030, il ne faut guère s'attendre à des dommages de grande ampleur liés au climat. Les valeurs mentionnées ci-dessous concernent les dommages annuels. Jusqu'en 2050, les dommages moyens attendus se montent à 0,15 % du PIB par an (dommages en % du PIB de 2050, voir figure). Par la suite, le coût des dommages augmente fortement. Les dommages moyens attendus pour 2100 atteignent 0,48 % du PIB (dommages en % du PIB de 2100).

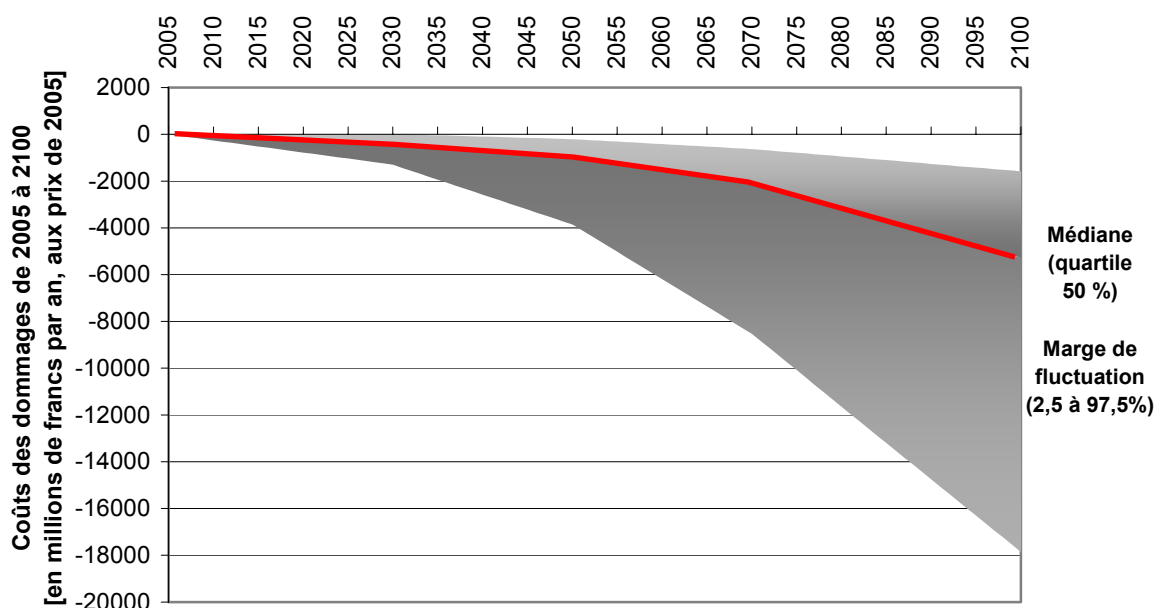
Figure 7: Coûts des dommages causés par les changements climatiques pour les années 2050 et 2100



La figure ci-dessus présente les dommages en % du PIB, c'est-à-dire qu'elle place les dommages liés au climat dans un contexte qui permet d'évaluer leur ordre de grandeur. Certaines études internationales calculent et publient parfois aussi les dommages en valeur absolue, soit en millions de francs suisses. Les coûts des dommages liés au climat restent modérés jusqu'en 2030 non seulement lorsqu'on les exprime en % du PIB, mais aussi en millions de francs (voir Grafik 1-3): pour 2030, on s'attend à des dommages liés au climat d'environ 350 millions de francs (médiane, sans escompte), la marge de fluctuation allant d'aucun dommage à 1300 millions de francs (intervalle de confiance de 95 %). Pour 2050, les dommages attendus se montent à 1000 millions de francs (médiane, sans escompte), à l'intérieur d'une fourchette allant de 200 à 3700 millions de francs. On peut s'attendre à des dommages net-

tement supérieurs après 2050: jusqu'à 2100, ils grimpent à 5300 millions de francs (médiane, sans escompte), avec une très vaste zone d'incertitude allant de 1600 à près de 18 000 millions de francs.

Figure 8: Évolution des coûts annuels des dommages (médiane et marge de fluctuation) de 2005 à 2100



Si l'on considère toute la période allant de 2005 à 2100, le montant calculé pour les dommages annuels moyens attendus (médiane) se monte à environ 1 milliard de francs (aux prix actuels), en appliquant un taux d'escompte de 2 %.

Le calcul des dommages est soumis à une grande incertitude

L'incertitude qui entache le calcul des dommages est considérable et aboutit à une marge de fluctuation relativement large pour les dommages possibles. Pour 2050, cette fourchette va de pratiquement 0 à un maximum de près de 0,6 % du PIB. En 2100, la marge de fluctuation des dommages possibles s'étend entre un modeste 0,15 % du PIB et des pertes massives de près de 1,6 % du PIB. L'incertitude qui affecte ces calculs peut être imputée pour plus de 40 % aux doutes concernant l'évolution des températures. Les 60 % restants proviennent des incertitudes liées aux hypothèses de monétisation.

Dommages liés au climat dans les divers domaines

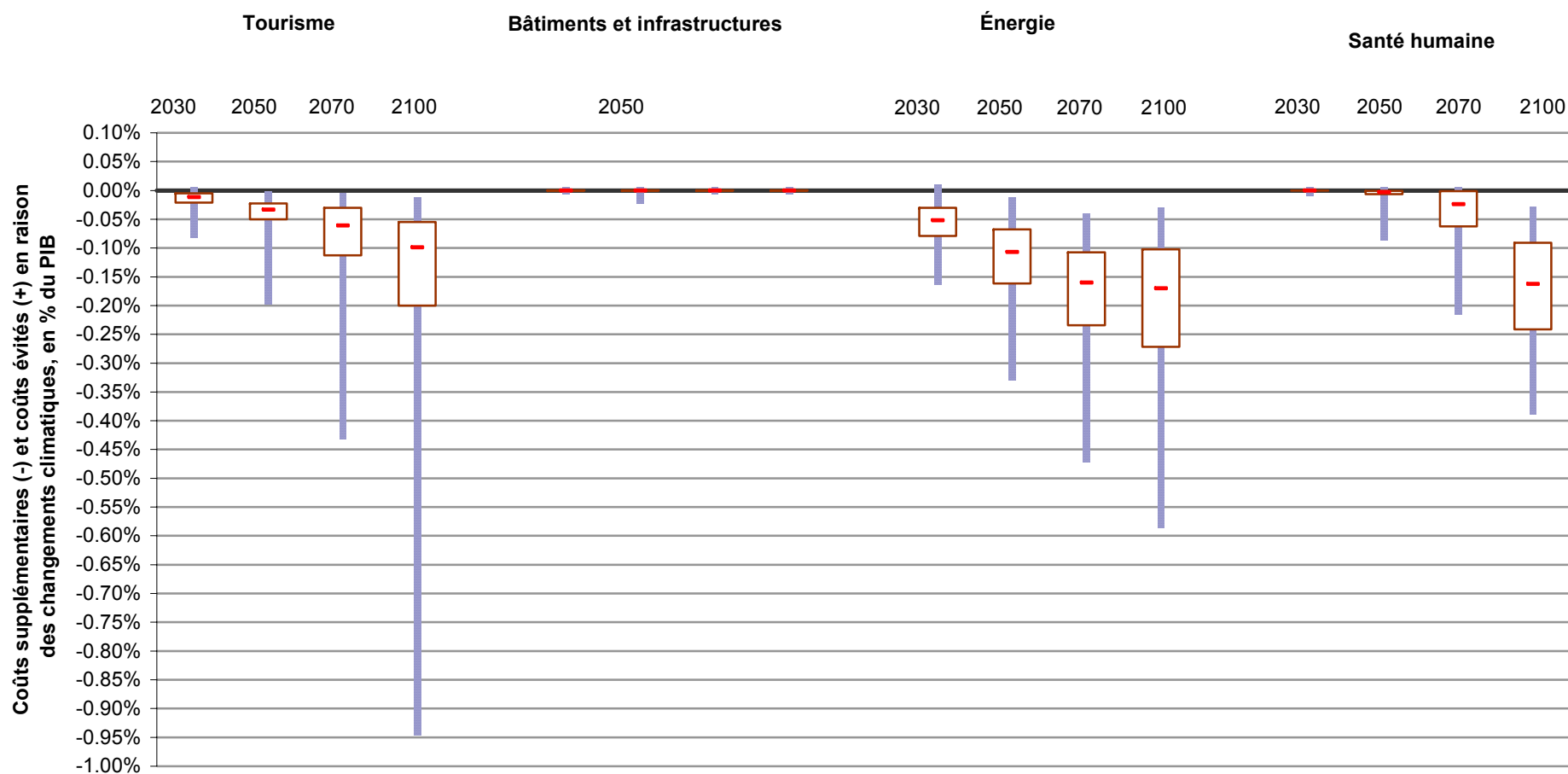
Les secteurs touristique et énergétique seront les plus fortement touchés

C'est dans le *domaine de l'énergie* que les dommages moyens attendus sont les plus élevés, bien que des hivers plus doux devraient réduire les besoins de chauffage (voir Grafik 1-4). Les conséquences négatives dans ce domaine sont surtout liées aux pertes de production hydro-électrique et au recours accru à la climatisation au domicile et sur le lieu de travail. Les dépenses consacrées à la climatisation, en forte hausse, doivent être perçues comme des coûts d'adaptation permettant d'éviter des dommages encore plus importants, notamment dans le domaine de la santé humaine. Pour le *secteur touristique*, les dommages moyens attendus sont certes inférieurs à ceux du domaine de l'énergie, mais la marge d'incertitude est plus large. Il convient de préciser que les coûts d'adaptation n'ont pas été pris en compte pour le tourisme, tout comme on a laissé de côté les conséquences positives liées à l'amélioration de l'attractivité de la Suisse au plan international pour le tourisme estival. Dans le domaine de la *santé humaine* (mortalité précoce et pertes de productivité au travail dues au climat), on ne remarque de dommages sensibles qu'après 2050, mais ceux-ci augmentent plutôt rapidement par la suite et jusqu'en 2100. Les dommages attendus pour *les bâtiments et les infrastructures* sont provoqués essentiellement par les crues, les inondations et les laves torrentielles, mais ils restent modestes si on les compare à ceux des autres domaines.

De grands bouleversements malgré des dommages limités

Les dommages moyens attendus sont modérés, mais cela ne doit pas induire en erreur: d'une part, une grande incertitude demeure; d'autre part, malgré ces dommages modérés, le climat provoquera des bouleversements considérables dans certains secteurs économiques (restructuration de la production électrique, réaménagement et réorientation dans le domaine touristique, notamment). Si les restructurations et réorientations nécessaires ne sont pas mises en œuvre à temps (conservation des structures, par exemple), les dommages économiques seront plus importants que prévu.

Figure 9: Coûts des dommages dus aux changements climatiques en 2030, 2050, 2070 et 2100 pour les principaux domaines

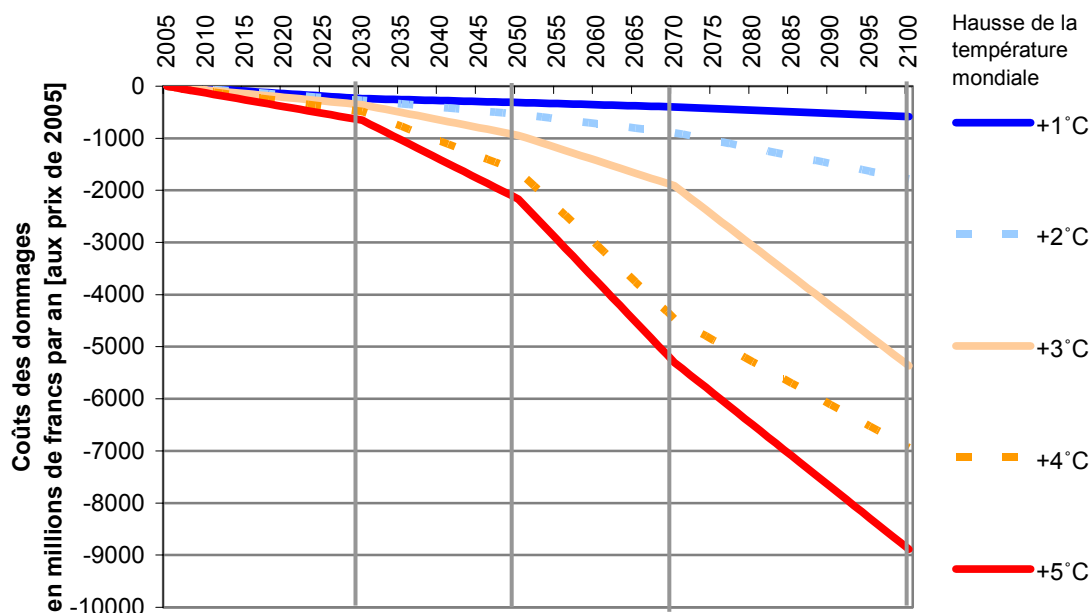


Dommages en Suisse: conséquences d'une politique climatique coordonnée au plan mondial

Une partie des dommages dus au climat ne peut plus être évitée

Les connaissances actuelles montrent que des changements climatiques d'une certaine ampleur sont désormais inévitables. Même si l'on parvenait à « geler » les émissions actuelles de gaz à effet de serre à leur niveau de 2000, la hausse de la température mondiale dépasserait 0,5 °C en 2100. Une hausse mondiale allant jusqu'à 2 °C – qui ne semble plus évitable – provoquerait des dommages relativement modérés en Suisse (voir Grafik 1-5). En revanche, si la hausse dépassait 2 °C, les dommages liés au climat augmenteraient fortement dans notre pays également.

Figure 10: Évolution des dommages (médiane) en Suisse en fonction de la hausse mondiale de la température



Une politique climatique efficace et coordonnée au plan international permettrait à la Suisse d'économiser chaque année entre 0,6 et 1 milliard de francs de dommages par degré de réchauffement mondial évité

Les plus gros dommages supplémentaires surviendraient en Suisse avec une hausse de la température mondiale comprise entre 2 et 3 °C ou 3 et 4 °C d'ici à 2100. Les dommages les plus importants – environ 0,6 milliard de francs en moyenne par année (pour un taux d'escompte de 2 % sur la période 2005 à 2100) – interviennent donc justement pour les hausses de température que l'on espère pouvoir éviter grâce à une politique climatique efficace et coordonnée au plan international. Si l'on part d'un taux d'escompte nul (à la place de

2 %), les dommages moyens que la politique climatique permettrait d'éviter ne se montent plus à 0,6 milliard mais à 1 milliard de francs par an et par degré de hausse évité jusqu'en 2100. En simplifiant, on peut donc affirmer qu'une politique climatique efficace permettrait à la Suisse d'économiser chaque année entre 0,6 et 1 milliard de francs de dommages par degré de réchauffement mondial évité.

Conclusions

D'un point de vue économique, la Suisse peut faire face aux changements climatiques, mais d'autres aspects sont prépondérants

Pour l'économie nationale, les conséquences directes et indirectes des changements climatiques en Suisse restent modérées jusqu'en 2050, mais augmentent fortement par la suite. L'évolution du climat est supportable pour la Suisse du point de vue économique si une stratégie d'adaptation judicieuse est mise en place. À notre avis, la politique climatique suisse ne trouve donc pas exclusivement sa raison d'être dans la réduction des dommages à l'intérieur du pays, dont elle profite directement, mais aussi dans les trois éléments suivants: (1) « Protection / assurance »: de grandes incertitudes subsistent en ce qui concerne les conséquences des changements climatiques. Les évolutions catastrophiques (bifurcations mondiales) sont certes peu probables, mais ne peuvent être exclues. Une politique climatique efficace peut avoir pour but de servir de « garantie » contre de tels événements. (2) Justice internationale, répartition internationale des ressources: les changements climatiques frappent en particulier les pays les plus pauvres, alors qu'ils sont dus en premier lieu aux pays industrialisés ou émergents. La politique climatique peut par conséquent contribuer à un monde plus « juste ». (3) Justice intergénérationnelle, répartition intergénérationnelle des ressources: les activités économiques actuelles peuvent restreindre les possibilités des générations futures. La politique climatique trouve donc aussi sa raison d'être dans la justice intergénérationnelle.

1 Einleitung und Ziel

Der vorliegende Ecoplan-Bericht schätzt die direkten und teils indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft ab. Welche Auswirkungen der Schweiz aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten erwachsen, wird in einer parallelen Studie durch die Arbeitsgemeinschaft Infrac / Ecologic / Rüter+Partner analysiert. Die **Ziele** der hier vorliegenden Studie sind:

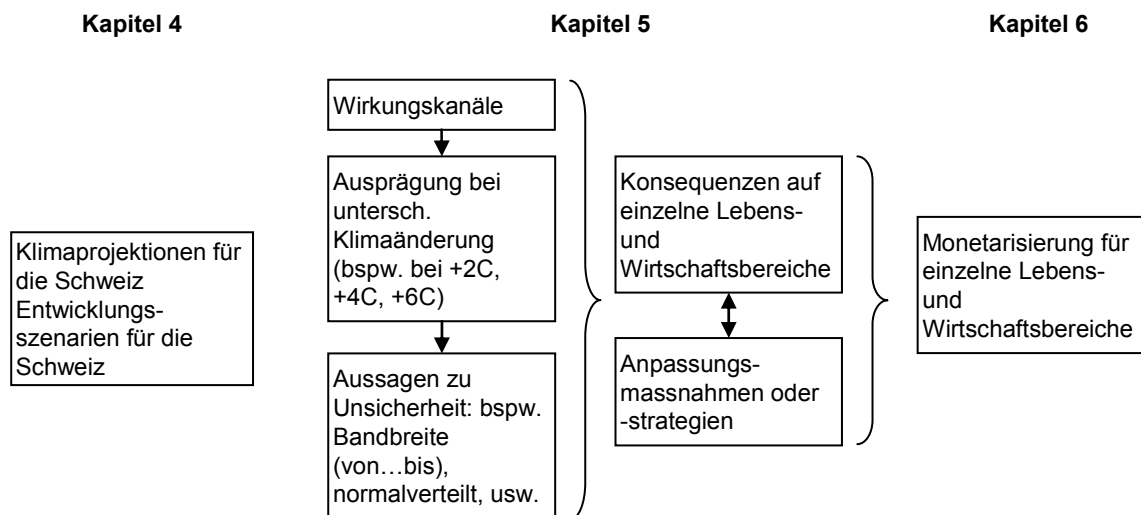
- Aufdatierung (Monetarisierung) und Plausibilisierung der in der NFP31-Studie, Meier Ruedi (1998), ausgewiesenen Schadenskosten
- Analyse von Anpassungsprozessen, Anpassungskosten und indirekten Auswirkungen
- Zusammenstellung der monetären, quantitativen und qualitativen Aussagen der in den bisherigen Studien ausgewiesenen Auswirkungen der Klimaänderung auf die verschiedenen Lebens- und Wirtschaftsbereiche

Eine detaillierte Analyse der Anpassungs- und Schadenskosten, bspw. für das Jahr 2050, ist wichtig für ein besseres Verständnis der Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Schweizer Volkswirtschaft. Bei einer auf die absoluten Schadenskosten für ein ausgewähltes Jahr ausgerichteten Analyse werden aber wesentliche Aspekte der Schweizer Klimaproblematik nicht berücksichtigt. Hohe, relativ weit in der Zukunft auftretende Schadenskosten sind auch noch keine ausreichende Bedingung für unmittelbares Handeln. Bei der Diskussion der Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft wurden folgende Punkte speziell beachtet:

- **„Unsicherheit“**: Die Unsicherheit über die künftigen Auswirkungen von Klimaänderungen ist mehrdimensional: Einerseits sind die Klimaprojektionen unsicher, andererseits sind die aus den Klimafolgen zu den Schäden abgeleiteten Schätzungen mit grösseren Unsicherheiten verbunden. Bei den unterstellten Klimaprojektionen (vgl. Frei (2004)) wurde das Ausmass der Unsicherheit im Rahmen einer Häufigkeitsverteilung erfasst. Damit die von den Klimaprojektionen gebotene Information zur „Eintretenswahrscheinlichkeit“ nicht verloren geht und mit der Bandbreite der Schadenskosten kombiniert werden kann, wurde eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Diese erlaubt Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadens.
- **„Grenzschadenskosten“**: Die klimapolitischen Massnahmen (die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht thematisiert werden) müssen sich an den Grenzschadenskosten ausrichten und nicht an den absoluten Schadenskosten. Da ein gewisses Mass der Klimaänderung nach heutigem Erkenntnisstand bereits unvermeidlich ist, wird im Rahmen dieser Studie neben den absoluten Schadenskosten aufgezeigt, welche Schäden nicht auftreten, wenn der Temperaturanstieg geringer ausfällt bspw. wegen griffiger globalen Klimamassnahmen (welche Klimamassnahmen wie viel bringen, wird hier allerdings nicht thematisiert).

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut: Das Umfeld und die für das Verständnis des Berichts nötigen Begrifflichkeiten werden in aller Kürze im Kapitel 2 dargelegt. Kapitel 3 gibt einen kurzen Überblick über die Resultate verschiedener internationaler Studien zu den globalen klimabedingten Schadenskosten. In Kapitel 4 werden die Klimaprojektionen und die Entwicklungsszenarien für die Schweiz vorgestellt. Die Wirkungskanäle und – soweit möglich Aussagen zu Unsicherheiten – sowie die Konsequenzen auf einzelne Lebens- und Wirtschaftsbe-
reiche werden in Kapitel 5 beleuchtet. Kapitel 5 wertet den OcCC-Bericht im Hinblick auf die Monetarisierung der klimabedingten Schadenskosten im Kapitel 6 aus. Die Schadenskostenberechnungen für die einzelnen Bereiche werden in Kapitel 7 zusammenfassend dargestellt und gewürdigt.

Grafik 1-1: Aufbau des Berichts



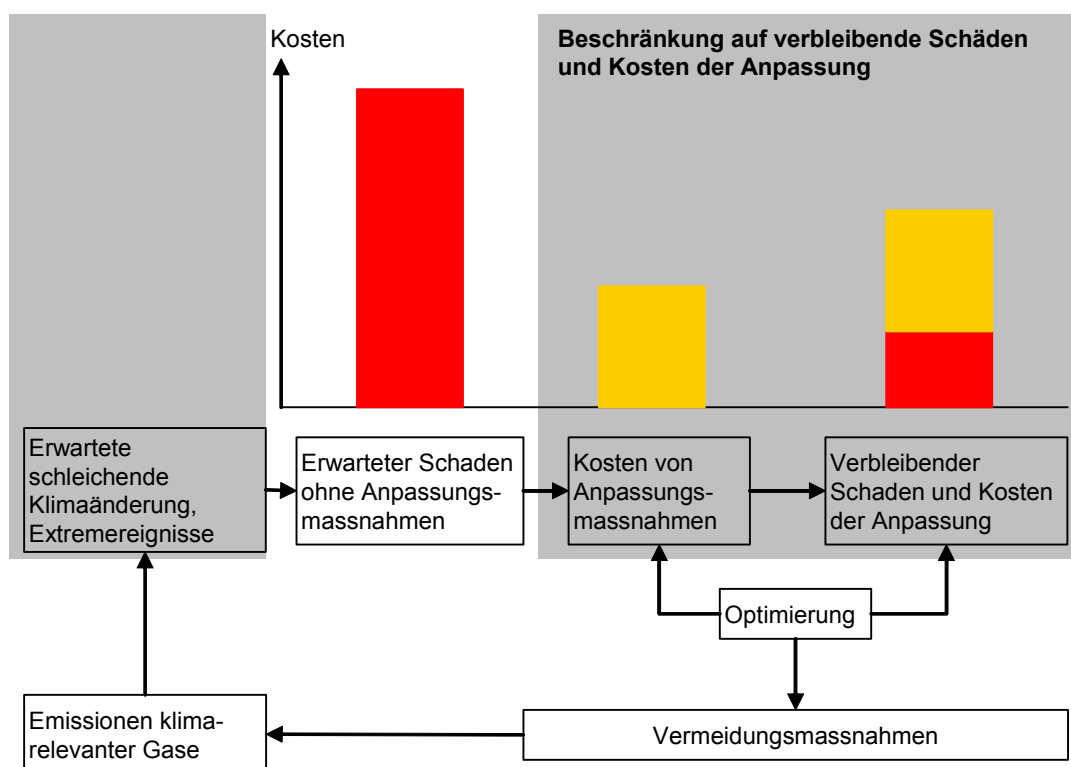
2 Umfeld und Begrifflichkeiten

Dieses Kapitel zeigt in aller Kürze auf, wie sich die vorliegende Studie in die laufende Klimadiskussion einordnet. Es enthält aber auch wichtige Definitionen und Konventionen, welche die Sicht der Studie bzw. der Autoren möglichst transparent aufzeigt.

2.1 Schadens-, Anpassungs- und Vermeidungskosten

Die vorliegende Studie schätzt Schadens- und Anpassungskosten. Diese werden partialanalytisch für einzelne Lebens- und Wirtschaftsbereiche geschätzt. Die nachfolgende Grafik zeigt, dass die vorliegende Studie keine Berechnungen oder Aussagen zu den Vermeidungsmassnahmen machen wird. Es werden also nur Schadens(grenz)kosten dargestellt. Eine Gegenüberstellung oder gar integrierte Betrachtung mit den Vermeidungs(grenz)kosten wird nicht vorgenommen. Diese Einschränkung ist systemisch nicht von grosser Tragweite, da der Optimierungsprozess aus Anpassungs- und Vermeidungsmassnahmen weitgehend separiert werden darf (vgl. dazu Tol (2005)): Einerseits sind unterschiedliche Akteure angesprochen - lokale, regionale bei den Anpassungsmassnahmen, internationale bzw. nationale bei den Vermeidungsmassnahmen - und andererseits liegen Anpassungs- und Vermeidungsmassnahmen auf der Zeitachse in der Regel deutlich auseinander.

Grafik 2-1: Positionierung der Studie in Bezug auf die Schadens-, Anpassungs- und Vermeidungskosten



Eine weitere Einschränkung betrifft – wie in der obigen Grafik auch gezeigt – die Optimierung zwischen Anpassungsmassnahmen und Schäden. Im Rahmen dieser Studie ist es nicht möglich, eine eigentliche Optimierung der Anpassungsmassnahmen vorzunehmen. Wichtig ist aber, dass Anpassungsmassnahmen mit berücksichtigt werden, weil der erwartete Schaden ohne Berücksichtigung von möglichen Anpassungsmechanismen überschätzt würde. Weiter gilt, dass gerade die Schweiz – gemäss den Kriterien des IPCC¹ – die notwendigen Voraussetzungen erfüllt, um Anpassungsmassnahmen möglichst ziel- und zeitgerecht umzusetzen.

Berücksichtigung der Anpassungskosten

Die Anpassungsmassnahmen werden in der bestehenden Schadenskostenliteratur sehr unterschiedlich gehandhabt. Teilweise werden auch innerhalb derselben Impactstudie je nach Lebens- und Wirtschaftsbereich unterschiedliche Methoden zur Berücksichtigung der möglichen Anpassungen an die Klimaänderung angewendet.

Die Anpassungsmassnahmen können wie folgt strukturiert werden:

- Autonome/reaktive Anpassungen: In einem ersten Schritt werden die Annahmen zu den autonomen/reaktiven Anpassungen (Reaktionen einzelner Individuen auf die eingetretene Klimaänderung) dargestellt.
- Geplante/aktive Anpassungen: In einem zweiten Schritt werden die Annahmen zu den geplanten/aktiven Anpassungen (Reaktion von lokalen, regionalen oder nationalen Akteuren im Hinblick auf die Vermeidung von künftig erwarteten Schäden) dargestellt.

Im Moment ist es aufgrund der vorliegenden Informationen noch nicht möglich, eine gesicherte Einschätzung abzugeben, wann eine geplante/aktive einer autonomen/reaktiven Anpassung vorzuziehen ist.

Monetarisierung der verbleibenden Schäden und Anpassungskosten

Die vorhandenen Grundlagen erlauben es nicht, in allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen klar zwischen erwartetem Schaden ohne Anpassungskosten und den Anpassungskosten und verbleibenden Schäden zu trennen. Die Studie wird sich allein auf das Aggregat aus verbleibenden Schäden und Anpassungskosten fokussieren.²

¹ Kapitel 18 von IPCC (2001), Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Contribution of Working Group II to the Third Scientific Assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.

² Tol et al (1998) hat für verschiedene Impactstudien einen Anteil der Anpassungskosten am Aggregat von verbleibenden Schäden und Anpassungskosten von 7 bis 25% berechnet.

2.2 Gesamter Schaden vs. Grenzschaden

In dieser Studie wird der gesamte Schaden berechnet. Die Grenzschäden können bspw. aus der Differenz zwischen einem Gesamtschaden bei einer globalen Temperaturerhöhung von +2°C auf +3°C für die Schweiz berechnet werden. Der so berechnete Grenzschaden bezieht sich auf ein Grad Erwärmung für die Schweiz.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit internationalen Impactstudien ist aber der Grenzscha-
den in Bezug auf die globale Erwärmung bzw. auf die Tonne CO₂ bzw. C (Kohlenstoff) zu
beziehen. Dazu müssen folgende Zusammenhänge explizit festgelegt werden:

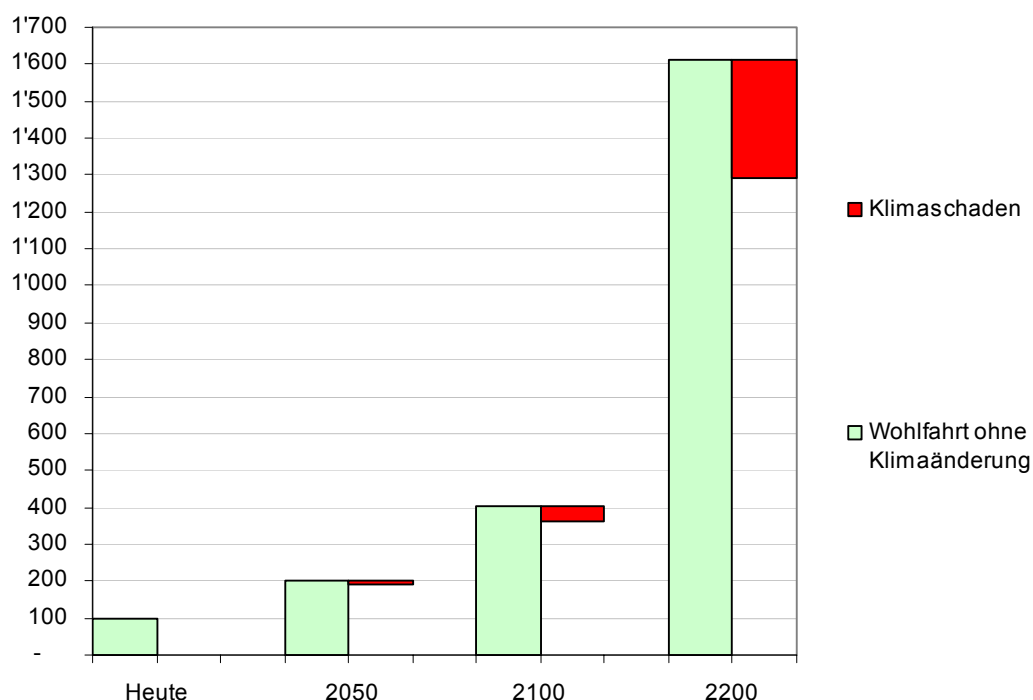
- *Reaktion der Schweizer Temperaturen auf eine globale Temperaturerhöhung:* Aus den Berechnungen von Frei (2004) kann dieser Zusammenhang nicht direkt abgeleitet werden. Klar ist, dass die Unsicherheiten bzw. Bandbreiten bzgl. Temperatur und Niederschlag in der Schweiz grösser sind als global.
- *Reaktion der Globaltemperatur auf CO₂-Emissionen:* Aus dem Vergleich zweier Emissionspfade und ihrer Reaktion auf die Globaltemperatur können ganz grobe Schätzungen zu einem Grenzschaden – bezogen auf die Tonne CO₂ – berechnet werden, allerdings nur auf globaler Ebene.
- *Schweizer Grenzschaden im Vergleich zum globalen Grenzschaden:* Ziel wäre es, den Grenzschaden der Schweiz auf die Tonne CO₂ zu beziehen und diesen dann mit dem globalen Grenzschaden zu vergleichen. Dies kann nur rein illustrativ erfolgen, da sich der Grenzschaden auf die Schweiz bezieht und die CO₂-Emissionen global anfallen. Der Schweizer Schaden wird pro Kopf auf die globale Ebene hochgerechnet (rein illustrativ, andere Hochrechnungsverfahren wären selbstverständlich für diesen Vergleich auch denkbar).

Dieses Vorgehen erlaubt uns, einen Vergleich mit internationalen Studien vorzunehmen und einzuschätzen, ob die Schweiz im globalen Vergleich über- oder unterdurchschnittlich von einer zusätzlichen Klimaerwärmung betroffen ist, bzw. ob die Schweiz von griffigen klimapolitischen Massnahmen im globalen Vergleich über- oder unterdurchschnittlich profitieren kann.

2.3 Diskontrate

Bis klimapolitische Massnahmen Wirkung zeigen, vergehen Jahrzehnte. Die Frage stellt sich also, wie in 50 Jahren auftretende Schäden aus heutiger Sicht zu beurteilen sind und welche Pflichten daraus der heutigen Generation erwachsen. Dieser Frage wird in der Studie Meyer/Roser (2007) nachgegangen.

Für diesen Bericht stellt sich die Frage, in welcher Form die berechneten Schäden dargestellt werden, also welche Bezugsgrössen angesetzt werden sollen. Anhand des folgenden Schaubildes soll dies kurz aufgezeigt werden.

Grafik 2-2: Wohlfahrtentwicklung ohne Klimaänderung sowie Klimaschaden (illustrativ)

Das obige Schaubild zeigt eine Entwicklung bei einer Wachstumsrate von 1.4% und einem steigenden Klimaschaden bis auf 20% der Wohlfahrt im Jahr 2200.³ Bei der Darstellung der Schadenszahlen ist darauf hinzuweisen, dass Wirtschaft und Wohlfahrt weiterhin wachsen. Auch wenn wir massivste Klimaschäden erwarten würden, steigt die Wohlfahrt für alle künftigen Generationen immer noch deutlich an. Wohlfahrtsmässig sind die künftigen Generationen immer noch deutlich besser gestellt als die heutige Generation.

Die Frage stellt sich nun, wie ein solches Schadensbild aus heutiger Sicht beurteilt und sinnvoll in Zahlen gefasst werden kann. Grundsätzlich können absolute oder relative Bezüge hergestellt werden:

- **Absolute Schadenszahlen:** Der in diesem fiktiven Beispiel im Jahr 2200 auftretende Schaden beträgt 320 (Wohlfahrtseinheiten) ist also 3.2 mal so gross wie die heutige Wohlfahrt von 100. Scheinbar ein riesiger Schaden. Diskontieren wir die zwischen 2000 bis 2200 auftretenden Schäden und berechnen die durchschnittlichen Schaden pro Jahr, so spielt die für die Diskontierung benutzte Diskontrate eine zentrale Rolle: Bei 0% erhalten wir einen durchschnittlichen Schaden pro Jahr von 78 (also 78% der heutigen Wohlfahrt), bei 1.4% (entspricht der unterstellten Wachstumsrate) beträgt der durchschnittliche Schaden pro Jahr 30, bei 3% berechnen wir einen durchschnittlichen Schaden von 10. Je höher die Diskontrate, desto kleiner wird der künftige Schaden aus heutiger Sicht beurteilt.

³ Diese Schadensgrösse ist sehr unwahrscheinlich und wurde hier nur zu Illustrationszwecken gewählt.

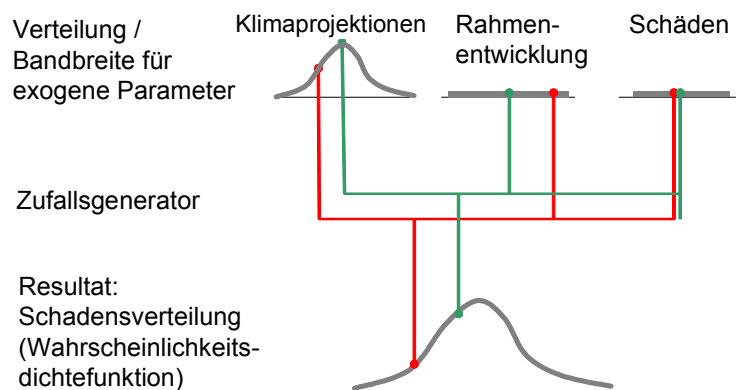
Die Wahl der sozialen Diskontrate wird und wurde schon ausgiebig aus ökonomischer, ethischer und philosophischer Sicht beurteilt. Aus einer ökonomischen Sicht der Dinge ist allerdings zu beachten, dass die Einkommenselastizität für jeden zusätzlichen Grenznutzen nicht 0 ist, sondern sich – gemäss empirischen Schätzungen – in der Nähe von 1 bewegt. Dies impliziert, dass ein zusätzlicher Franken bei der heutigen Generation für eine Generation mit im Vergleich zu heute doppeltem Wohlfahrtsniveau nur einem Nutzenzuwachs von 0.5 entspricht. Eine Darstellung, die auf absoluten Zahlen beruht, scheint daher bei einer wachsenden Wirtschaft und Zeiträumen von 50 Jahren problematisch. Wir berechnen in dieser Studie die absoluten Schadenszahlen mit verschiedenen Diskonraten, damit Vergleiche mit anderen Studien möglich sind (insbesondere bei der Berechnung der Grenzschadenskosten von Bedeutung). Auf eine vertiefte Diskussion, welche soziale Diskontrate für die Klimaproblematik angebracht ist, wird an dieser Stelle verzichtet.

- **Relative Schadenszahlen:** Im Rahmen dieser Studie stellen wir die relativen Schadenszahlen in den Vordergrund und weisen die Schäden in Prozenten des jeweiligen Jahres aus – also bspw. Wohlfahrtsverluste bzw. Schäden ausgedrückt in BIP% des jeweiligen Jahres. Die Darstellung der relativen Schadenszahlen – jeweils bezogen auf das entsprechende Jahr, in dem der Schaden auftritt – ist unabhängig von der Diskontrate.

2.4 Umgang mit Unsicherheit

Damit die von den Klimaprojektionen gebotene Information zur „Eintretenswahrscheinlichkeit“ nicht verloren geht und mit der Bandbreite der Schadens- bzw. Anpassungskosten und den Unsicherheiten bzgl. der Rahmentwicklungen kombiniert werden kann, wird statt einer einfachen Sensitivitätsbetrachtung eine **Monte-Carlo-Simulation**⁴ durchgeführt (vgl. nachfolgende Grafik).

⁴ Eine „normale“ Sensitivitätsanalyse zeigt meist nur Kombinationen von Extremwerten der exogenen Parameter. Dies kann der hier vorliegenden grossen Unsicherheiten in allen Bereichen (Klimaprojektionen, Rahmenentwicklungen, Schadensfunktionen, usw.) nicht gerecht werden. Im von uns vorgeschlagenen Monte-Carlo-Verfahren werden zufällige Kombinationen der exogenen Parameter gewählt. Um die Verteilung der Schadens- bzw. Anpassungskosten zu berechnen, werden bspw. 1000 Parameterkombinationen berechnet. Die resultierende Verteilung der Schadens- und Anpassungskosten werden anschliessend statistisch ausgewertet (Verteilung, Median, Standardabweichung, Konfidenzintervalle, Bestimmung der sensitiven Parameter mittels linearer Regression der Resultate für die Modellvariablen in Abhängigkeit der Parameter, etc.). Ecoplan hat diese Art der Sensitivitätsanalyse im Jahre 2003 entwickelt und bereits in mehreren Studien mit Erfolg eingesetzt.

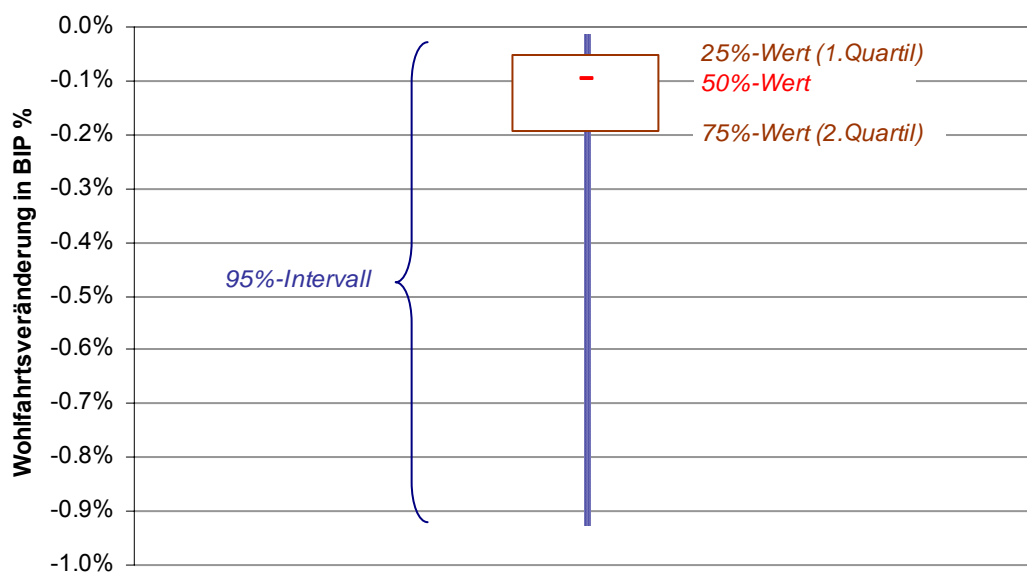
Grafik 2-3: Prinzipschema „Monte Carlo Simulation“

Nach der Monte-Carlo-Simulation werden wir in der Lage sein, die Schäden für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100 und ihre zugehörigen Wahrscheinlichkeiten aufzuzeigen. Die Resultate der Monte Carlo Simulation stellen wir anhand eines so genannten Box-Plots dar. Die nachfolgende Grafik zeigt, wie solche Box-Plots zu lesen sind.

Grafik 2-4: Box-Plot

Bezeichnung für welche Region (CH) und welchen Zeitpunkt gerechnet wurde (2100)

CH 2100



3 Globale Schadenskosten

Der Vergleich internationaler Studien zu den globalen Schadenskosten ist aufwändig, da die Schäden in unterschiedlichen Referenzrahmen ausgewiesen werden (bspw. in Billionen US\$, in BIP-Prozenten, in US\$/Tonne C, usw.) und einmal Gesamtschäden und das andere mal Grenzscha­den berechnet werden. Im Folgenden werden in aller Kürze die Resultate aus einem Artikel von Tol (2005)⁵ zusammengefasst, der 28 verschiedene Studien mit total 103 Schadenskostenschätzungen hinsichtlich ihrer Grenzscha­den (ausgedrückt in US\$/Tonne C) genauer analysiert hat.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die **Schadenskosten in BIP%** nach Regionen für vier ausgewählte Studien. Zu beachten ist, dass die vier Studien eine unterschiedliche Temperaturerhöhung unterstellen.

Tabelle 3-1: Schadenskosten in BIP%^{a)} nach Regionen für vier ausgewählte Studien

	Pearce et al.	Mendelsohn et al.	Nordhaus / Boyer		Tol ^{b)}
	2,5 °	1,5 °	2,5 °	2,5 °	1,0 °
Globale Temperaturerhöhung					
Nordamerika	-1,5				3,4 (1,2)
USA	-1,0 bis -1,5		0,3	-0,5	
OECD Europa	-1,3				3,7 (2,2)
EU	-1,4			-2,8	
OECD Pazifik	-1,4 bis -2,8				1,0 (1,1)
Japan			-0,1	-0,5	
Osteuropa und eh. UdSSR	0,3				2,0 (3,8)
Osteuropa				-0,7	
eh. UdSSR	-0,7				
Russland			11,1	0,7	
Naher Osten	-4,1			-2,0 ^{c)}	1,1 (2,2)
Lateinamerika	-4,3				-0,1 (0,6)
Brasilien			-1,4		
Süd- und Südostasien	-8,6				-1,7 (1,1)
Indien			-2,0	-4,9	
China	-4,7 to -5,2		1,8	-0,2	2,1 (5,0) ^{d)}
Afrika	-8,7			-3,9	-4,1 (2,2)
Entwicklungsländer (DCs)		0,12	0,03		
Entwicklungsländer (LDCs)		0,05	-0,17		
Welt					
Gewichtet nach Wirtschaftsleistung	-1,5 to -2,0		0,1	-1,5	2,3 (1,0)
Gewichtet nach Bevölkerungsgrösse				-1,9	
zu durchschnittlichen Weltpreisen					-2,7 (0,8)
Equity-gewichtet					0,2 (1,3)

Quellen: Pearce et al. (1996); Mendelsohn et al. (1998); Nordhaus und Boyer (2000); Tol (1999a).

a) Werte geben die Auswirkungen auf eine Gesellschaft mit heutiger ökonomischer Struktur, Bevölkerung, Gesetzen usw. an. Mendelsohn et al. bestimmen Auswirkungen auf eine zukünftige Ökonomie. Angaben in % des BIP. Positive Werte bezeichnen einen zusätzlichen Nutzen und negative Zahlen Kosten.

b) Werte in Klammern geben die Standardabweichung an. Sie bezeichnen die untere Grenze der realen Unsicherheit.

c) OPEC-Staaten mit hohem Einkommen.

d) China, Laos, Nordkorea, Vietnam.

Die älteste Studie von Pearce (1996) kommt zu den höchsten Schadenskosten. Von den neueren Studien kommen Nordhaus/Boyer (2000) zu negativeren Resultaten als Mendelsohn (1998) und Tol (1999), da Nordhaus/Boyer auch die Möglichkeit katastrophaler Auswir-

⁵ Tol R.S.J. (2005), The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties.

kungen ins Kalkül mit einbeziehen. Mendelssohn und Tol hingegen unterstellen im Vergleich zu den anderen Studien optimistische Annahmen zu den Anpassungsprozessen und kommen global zu leicht bis deutlich positiven klimabedingten Auswirkungen. Für einzelne Regionen hingegen weisen auch diese Studien negative Auswirkungen aus.

Die nachfolgende Grafik 3-1 bietet einen Überblick über die Grenzschadenskosten, ausgedrückt in US\$/Tonne C, verschiedener Studien (gemäss Tol (2005)). Die Grafik zeigt Folgendes:

- Die Grenzschadenskosten sind abhängig von der unterstellten Diskontrate (man beachte die unterschiedliche Achsenskalierung): Je geringer die Diskontrate, desto höher die Grenzschadenskosten.
- Jüngere, aktuellere Studien berechnen tendenziell tiefere Schadenskosten als ältere Studien.

Tol schliesst aus der Analyse von 28 Studien mit 103 Schadenskostenschätzungen, dass der klimabedingte Schaden sehr unsicher ist und dass die Grenzschadenskosten US\$ 50/Tonne C vermutlich nicht überschreiten, ja vermutlich sogar deutlich geringer sind.

Der Stern-Review

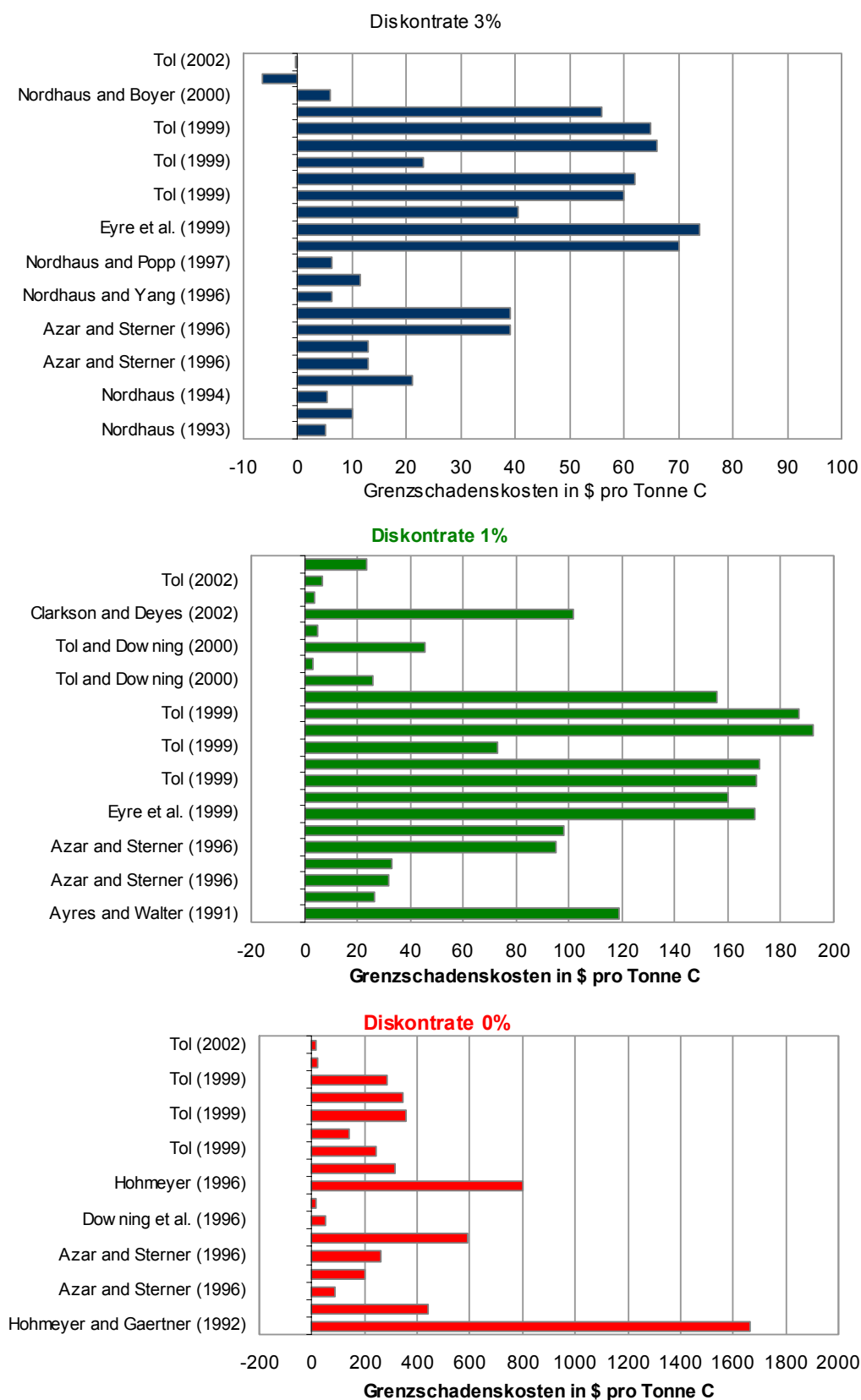
Der Stern-Review kommt auf soziale Kosten für CO₂ von rund US\$ 315/Tonne C, dies bei einer Diskontrate von 0.1%, liegt also im oberen Bereich der bisher publizierten Werte. Der Stern-Review wurde aus einer wissenschaftlichen Sicht kritisiert.⁶ Die Hauptkritikpunkte sind:

- Der Stern-Review trifft Annahmen bzw. wählt jene Studien aus, die zu hohen Schadenskosten führen (Nordhaus (2006) und Tol (2006)).
- Der Stern-Review benutzt eine sehr geringe Diskontrate, welche nicht kompatibel ist mit einer sehr tiefen Risikoaversion (Nordhaus (2006), Tol, Yohe (2007)): Die im Stern-Review ausgewiesenen grossen wirtschaftlichen Verluste sind fast ausschliesslich auf die Entwicklung nach 2100 zurückzuführen. Nehmen wir bspw. das Szenario „Klima-hoch mit katastrophalen Ereignissen und nicht-marktlichen Auswirkungen“, so kommt Stern bis 2050 auf einen BIP-Verlust von unter 1 BIP%, für 2100 auf 2.9 BIP% und für 2200 auf 13.8 BIP%. Die Aussage im Stern-Review, dass der pro-Kopf-Verbrauch im Klima-Basisszenario mit Berücksichtigung katastrophaler Ereignisse aber ohne nicht-marktliche Auswirkungen um mindestens 5% sinkt, jetzt und für immer, kommt somit nur durch die sehr tiefe Diskontrate und durch die im nächsten Jahrhundert massiv zunehmenden Schäden bzw. katastrophalen Ereignissen zustande. Auch der Stern-Review darf daher nicht dahingehend interpretiert werden, dass in den nächsten 100 Jahren riesige klimabedingte Schäden anfallen.

Bei Verwendung einer höheren Diskontrate (bspw. 2%) fallen die marktlichen Schadenskosten (inkl. Auswirkungen von katastrophalen Ereignissen) von 5% auf 0.6% (vgl. Yohe (2006)).

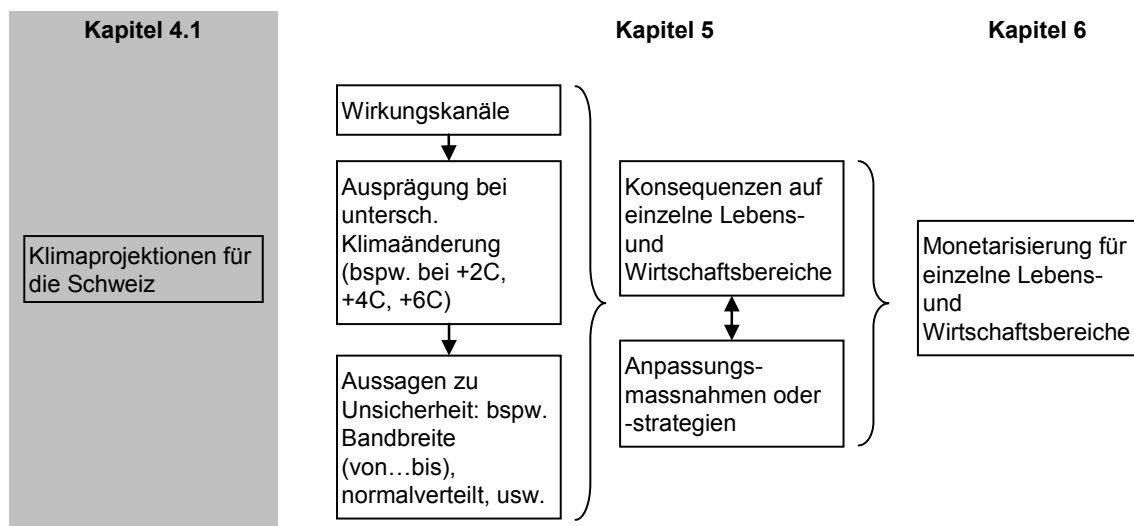
⁶ Vgl. bspw. Nordhaus (2006), Dasgupta (2006), Tol (2006), Tol, Yohe (2007), Yohe (2006) und weitere.

Grafik 3-1: Globale Grenzschaftungskosten verschiedener Studien für unterschiedliche Diskontraten (unterschiedliche Achsenskalierung beachten)



4 Klima- und Entwicklungsszenarien Schweiz

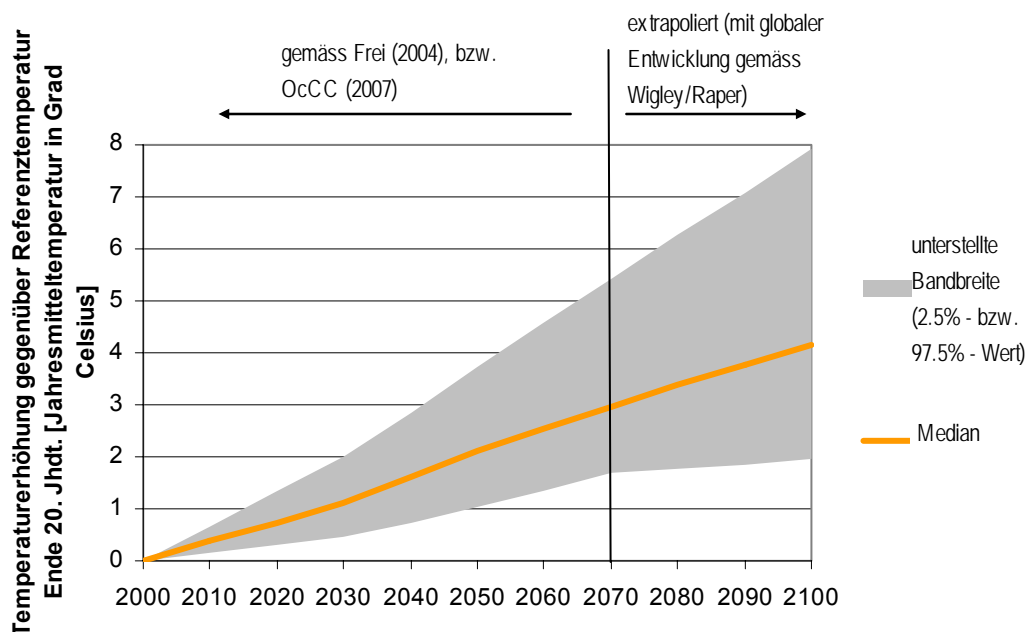
4.1 Klimaszenarien und Extremereignisse Schweiz



Basis für die Beurteilung der zu erwartenden Veränderungen klimatischer Parameter bilden die Klimaprojektionen für die Schweiz gemäss OcCC-Bericht (2007).

Die im Folgenden verwendete Temperatur- und Niederschlagsprojektionen stützen sich auf die probabilistischen Klimaprojektionen von Christoph Frei (2004), die wie folgt in die aktuelle Diskussion einzuordnen sind:

- Die vorliegenden Klimaprojektionen für die Schweiz im Jahr 2050 stimmen mit den aktuellsten Aussagen des neusten IPCC-Berichts (2007) überein.
- Auf Effekte von heute nicht absehbaren Auswirkungen in Bezug auf klimatische Phänomene (wie Kippeffekte atlantischer Strömungen usw.) wurde nicht eingegangen. Diese sind allerdings bis 2050 auch nicht zu erwarten.
- Auf eine Differenzierung bezüglich Temperatur- und Niederschlagsänderungen als Grundlagen für die Auswirkungen des Klimawandels nördlich und südlich der Alpen kann verzichtet werden.
- Ergänzende Betrachtungen zum klimatischen Anpassungsprozess unter Einbezug der Jahre 2030 und 2070 scheint zweckmässig und die entsprechenden Zahlen sind verfügbar. Für 2100 wurde eine Extrapolation anhand der globalen Entwicklung von Wigley/Raper durchgeführt. Die Grafik 4-1 zeigt die unterstellte Entwicklung für die Jahresmitteltemperatur.

Grafik 4-1: Entwicklung der Zunahme der Jahresmitteltemperatur für die Schweiz

- Die Stürme werden einerseits an Intensität zunehmen, andererseits werden sich ihre Zugbahnen nordwärts verschieben, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Wahrscheinlichkeit für grössere Sturmschäden auf Grund der Klimaänderung in der Schweiz sehr gering ist
- In Bezug auf klimatologisch relevante Extremereignisse ist eine quantitative Projektion praktisch nicht möglich. Empfohlen wird eine Betrachtung definierter Referenzereignisse aus der Vergangenheit (z.B. Hitzesommer 2003, Niederschlagsereignis Mai 1999) unter einer veränderten Eintretenswahrscheinlichkeit.

So rechnen beispielsweise die Hochwasserfachleute mit folgenden veränderten Eintretenswahrscheinlichkeiten für Abflusswerte (Bemessungshochwasser): Ein heute 100-jährliches Ereignis wird in Zukunft (2050) zu einem 20-jährlichen werden. Bezüglich Extremereignissen ist deshalb vermehrt der Überlastfall (Beanspruchung von Rückhalte- und Überflutungsräumen und freigehaltenen Gefahrenzonen) von Bedeutung.

Klimatischer Parameter		Temperatur			
„Schleichende“ Klimaveränderung	Quelle	Frei C (2004), OcCC (2007)			
	Wirkungskette	gem. regionalen Klimamodellen Frei C (2004), OcCC (2007)			
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Jahreszeit	2030	2050	2070
		Winter (DJF):	+1.0°C (+0.4/+1.8)	+1.8°C (+0.7/+3.4)	+2.6°C (+1.3/+4.7)
		Frühling (MAM):	+0.9°C (+0.4/+1.8)	+1.8°C (+0.8/+3.3)	+2.6°C (+1.2/+4.8)
		Sommer (JJA):	+1.4°C (+0.7/+2.6)	+2.7°C (+1.4/+4.7)	+3.8°C (+1.9/+7.0)
		Herbst (SON):	+1.1°C (+0.5/+1.8)	+2.1°C (+1.1/+3.5)	+3.0°C (+1.7/+5.1)
	Unsicherheit	95%-Konfidenzintervall oben aufgeführt			
Klimatisch bedingte Extremereignisse	Betroffene Schadensbereiche	alle (in unterschiedlichem Masse, abhängig von Anpassungsmöglichkeiten und -strategien)			
	Konsequenzen für Schadensbereiche	Instabilitäten infolge schleichender Temperaturzunahme (z.B. Permafrost) Zunahme von Hitzeperioden mit höheren Temperaturen Abnahme von Kälteperioden und Anzahl Frosttage			
	Bemerkungen	Auf eine Differenzierung zwischen Alpennord- und Alpensüdseite kann verzichtet werden, da die erwarteten Veränderungen praktisch identisch sind. Die Jahresganglinie von Zürich im Jahr 2050 dürfte ungefähr der heutigen von Sion (bei schwacher Erwärmung), von Magadino (bei mittlerer Erwärmung) bzw. von Torino (bei starker Erwärmung) entsprechen.			
	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003), Ch. Frei in: OcCC (2007)			
	Wahrscheinlichkeit	Vorliegende Modellrechnungen gelten in Bezug auf Extremereignisse als sehr unsicher			
	Wirkungskette	individuell, kaum voraussehbar			
	Typ-Ereignis	Hitzesommer 2003 (5.1°C über langjährigem Mittel)			
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Hitzesommer 2003 (heute: > 500-jährliches Ereignis) - 2030: Min: > 500; Median: > 500; Max: 60 - 2050: Min: > 500; Median: 50; Max: 2 - 2070: Min: 500; Median: 5; Max: jedes Jahr Frost: Verkürzung der Frostperiode (v.a. im Frühling, analog 1975 bis 2003)			
	Unsicherheit	Hitze: unklar, da neben den globalen Effekten auch lokale Bodenbedingungen und die Wolkenbildung eine Rolle spielen. Frost: unklar („Auch wenn das Risiko von Frosttagen möglicherweise abnimmt, kann das Auftreten von einzelnen Frostepisoden (...) nicht ausgeschlossen werden.“, OcCC (2003))			
	Betroffene Schadensbereiche	Hitze: Gesundheit, Infrastruktur, Ökologie (z.B. Fische) Frost: Landwirtschaft, technische Infrastruktur, Versicherung (Unfälle), Felsstürze im (Hoch)Gebirge als Folge des Permafrostschwundes			
	Konsequenzen für Schadensbereiche	analog Hitzesommer 2003, ob Hitzesommer 2003 gutes Bsp. ist unklar, denn: "Je seltener die betrachteten Ereignisse sind, umso geringer ist die Chance, einen wahren Trend nachzuweisen" (Ch. Frei in: OcCC (2003))			
	Bemerkungen	Kalte Extreme vor allem in Gebieten ausgeprägter, wo die Schneedecke abnimmt. Warme Extreme vor allem in Gebieten ausgeprägter, wo Bodenfeuchtigkeit abnimmt.			

Klimatischer Parameter		Niederschlag			
„Schleichende“ Klimaveränderung	Quelle		Frei C (2004), OcCC (2007)		
	Wirkungskette		gem. regionalen Klimamodellen Frei C (2004), OcCC (2007)		
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990 (Werte für Nordschweiz)	Jahreszeit	2030	2050	2070
		Winter (DJF):	+4 % (+2%/+9%)	+8 % (-1%/+21%)	+11 % (+1%/+30%)
		Frühling (MAM):	0 % (-6%/+4%)	0 % (-11%/+10%)	-1 % (-15%/+13%)
		Sommer (JJA):	-9 % (-18%/-4%)	-17 % (-31%/-7%)	-23 % (-41%/-9%)
		Herbst (SON):	-3 % (-8%/-1%)	-6 % (-14%/-1%)	-9 % (-17%/+8%)
	Unsicherheit		95%-Konfidenzintervall oben aufgeführt		
Klimatisch bedingte Extremereignisse	Betroffene Schadensbereiche		v.a. niederschlagsrelevante Bereiche Wasserwirtschaft (Grundwasser, Oberflächenwasser, usw.), Landwirtschaft, Wald, Ökologie		
	Konsequenzen für Schadensbereiche		Zunahme Hochwasser und gravitative Naturgefahren v.a. im Winter Zunahme Trockenheit v.a. im Sommer		
	Bemerkungen		Auf eine Differenzierung zwischen Alpennord- und Alpensüdseite kann verzichtet werden, da die erwarteten Veränderungen in der gleichen Grössenordnung liegen. Aussagen zur Niederschlagsentwicklungen sind extrem schwierig, da hier lokale, kleinräumige Situationen eine sehr grosse Rolle spielen können.		
	Aussage (Quelle)		Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003), KOHS (2007)		
	Wahrscheinlichkeit		vorliegende Modellrechnungen gelten als unsicher		
	Wirkungskette		situativ, kaum voraussehbar		
	Typ-Ereignis		Niederschlags- bzw. Hochwasserereignis Mai 1999		
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100		Zunahme von extremen 1- bis 5-tägigen Niederschlägen im Winterhalbjahr. Trockenheit: analog Hitzesommer 2003 (s. Temperatur)		
Klimatisch bedingte Extremereignisse	Unsicherheit		ein klimabedingt intensivierter Wasserkreislauf wird heute für das Winterhalbjahr und den gesamten Kontinent als wahrscheinlich angesehen, für sommerliche Starkniederschläge sind zurzeit weder qualitative noch quantitative Angaben möglich (Ch. Frei, in: OcCC (2003)) Trockenheit: Abfluss in kleinen bis mittleren Bächen ist relevanter für Trockenheit als Niederschlagssumme (B. Schädler, in: OcCC (2003))		
	Betroffene Schadensbereiche		bezüglich starken Niederschlägen sensible Nutzungen wie Siedlungen, Infrastruktur, Landwirtschaft (Hochwasser, Lawinen, Hanginstabilitäten, usw.) bezüglich Trockenheit: Wasserhaushalt, Landwirtschaft		
	Konsequenzen für Schadensbereiche		Häufigere Hochwasser und gravitative Naturgefahren v.a. im Winter und Frühling (hohes Niederschlagsvolumen infolge höherer Spitzen und längerer Dauer) Zunahme Trockenheit v.a. im Sommer analog 2003 (s. Temperatur). Die Unsicherheiten sind bzgl. den Konsequenzen für die Schadensbereiche bei den Niederschlägen v.a. in Bezug auf deren Abflüsse kleiner als bei den Temperaturen, da in diesem Bereich längere Erfahrungen vorhanden sind		
	Bemerkungen		Die Wirkungen von Starkniederschlägen sind abhängig von weiteren Faktoren wie Bodenbedeckung, Schneedecke, Bodenfeuchte usw.		

4.2 Entwicklungsszenarien Schweiz

Die gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten, welche für Projekte der Bundesverwaltung zu verwenden sind, werden vom Perspektivstab des Bundes festgelegt. Wir stützen uns hier im Besonderen auf die Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung des Bundesamtes für Statistik (BFS, 2006) und auf die Rahmendaten der aktuellen Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie. Letztere basieren ihrerseits auf

- Demografieszenarien des Bundesamtes für Statistik (BFS, 2006),
- BIP - Szenarien des Staatssekretariats für Wirtschaft (Seco, 2005),
- Wertschöpfungsszenarien nach Branchen von Ecoplan (Ecoplan, 2005),

Bevölkerungsszenarien

Das Bundesamt für Statistik hat 2006 neue Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung veröffentlicht. Das Referenzszenario beruht auf der Fortsetzung von Entwicklungen der letzten Vergangenheit, wobei Trends aufgrund des Inkrafttretens der bilateralen Abkommen über den freien Personenverkehr berücksichtigt werden. Zusätzlich hat das BFS ein hohes Szenario und ein tiefes Szenario erstellt, welche auf Kombinationen von Hypothesen beruhen, die das Bevölkerungswachstum begünstigen bzw. diesem weniger förderlich sind.

Die Haupteergebnisse der Bevölkerungsszenarien bestehen

- in der Fortsetzung eines leichten Bevölkerungswachstums in der Schweiz bis 2036 bei leicht steigender Geburtenhäufigkeit,
- in einer beschleunigten demografischen Alterung im gleichen Zeitraum in der Folge des derzeitigen Altersaufbaus der Bevölkerung und zunehmender Lebenserwartung,
- in einem beträchtlichen Anstieg des Altersquotienten, d.h. des Verhältnisses zwischen den Personen im Rentenalter und den Personen im erwerbsfähigen Alter.

Im Referenzszenario geht die Bevölkerung nach 2036 allmählich zurück (die Erwerbsbevölkerung nimmt trotz vermehrter Beteiligung der Frauen am Arbeitsmarkt bereits ab 2019 ab), wobei das BFS betont: „Ein Bevölkerungsrückgang ab 2015 oder ein anhaltendes Wachstum über das Jahr 2050 hinaus sind aber ebenfalls durchaus plausible zukünftige Entwicklungen.“ Tabelle 4-1 fasst die wichtigsten Kennzahlen der BFS-Bevölkerungsszenarien zusammen.

Tabelle 4-1: Wichtigste Kennzahlen der BFS-Bevölkerungsszenarien

	2004	2050		
		Referenz	hoch	tief
Wohnbevölkerung in Mio.	7.4	8.1	9.7	6.5
Wachstum der Wohnbevölkerung seit 2004 in %	-	8.7	30.3	-12.0
Wanderungssaldo (1000 Personen)	40.5	15.0	30.0	0.0
Erwerbsbevölkerung in Mio.	4.2	4.1	5.0	3.3
Wachstum der Erwerbsbevölkerung seit 2004 in %	-	-0.5	19.7	-20.4
65-Jährige und Ältere pro 20-64-jährige				
Erwerbspersonen (in %)	30.7	59.4	58.5	61.2
Gesamterwerbsquote in %	56.1	51.3	51.5	50.7
Durchschnittliche Anzahl Kinder je Frau	1.42	1.40	1.65	1.15
Lebenserwartung bei Geburt der Männer in Jahren	78.6	85.0	87.5	82.5
Lebenserwartung bei Geburt der Frauen in Jahren	83.7	89.5	91.5	87.5

BIP - Szenarien

Die vom Seco erarbeiteten BIP-Szenarien beruhen auf einer Schätzung des Produktivitätswachstums und den Resultaten der Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2000-2060 des BFS.⁷ Für die Schätzung des Wachstums der Arbeitsproduktivität kamen die Daten der Jahre 1980 - 2000 zur Anwendung (1980 und 2000 sind Konjunktur-Spitzen und eignen sich aus diesem Grunde für die Bildung von durchschnittlichen Wachstumsraten). Es resultiert ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 0.89%.

Das Seco weist darauf hin, dass aus einer konsequenten Umsetzung der Massnahmenpakete der Wachstumspolitik, wie sie auch von der OECD vorgeschlagen werden, ein um bis zu 0,7% höheres jährliches Wirtschaftswachstum resultieren würde verglichen mit der Variante BIP Trend. In den Energieperspektiven wird eine teilweise Umsetzung der Massnahmenpakete unterstellt. Diese Annahme schlägt sich in einem durchschnittlichen Wachstum nieder, das um 0,5 Prozentpunkte über demjenigen der Variante BIP Trend liegt (vgl. Tabelle 4 2).

Tabelle 4-2: Durchschnittliche BIP Wachstumsraten unterschiedlicher Zeitabschnitte (in%)

Zeitraum	2000 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2000 - 2040
BIP Trend	1.4	1.0	0.5	0.7	0.9
BIP Hoch	1.9	1.5	1.0	1.3	1.4

⁷ Es handelt sich dabei um die älteren Bevölkerungsszenarien mit einer im Vergleich zu den aktuellen Szenarien weniger stark wachsenden Bevölkerung (BFS (2001), Szenarien zu Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2000-2060. Neuchâtel).

Sektorale Wertschöpfungsszenarien

Mit dem Ecoplan-Gleichgewichtsmodell sind Branchenszenarien für das BIP Trend und für das BIP hoch geschätzt worden. Grundlagen bildeten neben der Input- Output - Tabelle für das Jahr 1998 das BIP- bzw. das Produktionswachstum und die Entwicklung der Beschäftigung⁸, die Entwicklung der Gesundheitskosten und die Entwicklung der Bauinvestitionen. Es resultieren der Bruttoproduktionswert, die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung des ersten Sektors (Landwirtschaft) sowie von 42 Branchen des zweiten (Industrie) und des dritten Sektors (Dienstleistungen). In den Resultaten widerspiegelt sich eine Weiterführung des seit einigen Jahren beobachtbaren Trends, wonach der dritte Sektor auf Kosten des ersten und zweiten Sektors überproportional wächst (vgl. Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Bruttowertschöpfungen der Wirtschaftssektoren; Anteile am Total, Basis BIP Trend

<i>Jahr</i>	<i>2001</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>2030</i>	<i>2035</i>
Bruttowertschöpfung in Mrd. Franken	426	482	533	562	580
Landwirtschaft (Anteil am Total in %)	1.3%	1.1%	1.0%	0.9%	0.8%
Industrie (Anteil am Total in %)	27.5%	26.7%	25.9%	25.3%	24.8%
Dienstleistungen (Anteil am Total in %)	71.3%	72.2%	73.1%	73.9%	74.4%

Fortschreibung der Szenarien

Dort wo Fortschreibungen der Szenarien bis 2050 – und darüber hinaus – notwendig sind, schreiben wir die in den Szenarien angelegten Trends fort. Ein anderes Verfahren ist aufgrund der hohen Unsicherheiten für die betroffenen, weit in der Zukunft liegenden Perioden kaum möglich.

Umgang mit Unsicherheiten

Langzeitszenarien sind grundsätzlich mit grossen Unsicherheiten behaftet. Dies kommt auf globaler Ebene nicht zuletzt in den Emissionsszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zum Ausdruck (vgl. IPCC Special Report on Emission Scenarios, 2001).

⁸ Auch hier sind noch die älteren Bevölkerungsszenarien aus dem Jahre 2001 unterstellt.

Tabelle 4-4: Bandbreiten der IPCC-Emissionsszenarien

<i>Jahr</i>	<i>Weltbevölkerung in Mrd.</i>	<i>Weltsozialprodukt in Bio. \$ von 1990</i>	<i>CO₂-Konzentration in ppm</i>
1990	5.3	21	354
2000	6.1-6.2	25-28	367
2050	8.4-11.3	59-187	463-623
2100	7.0-15.1	197-550	478-1099

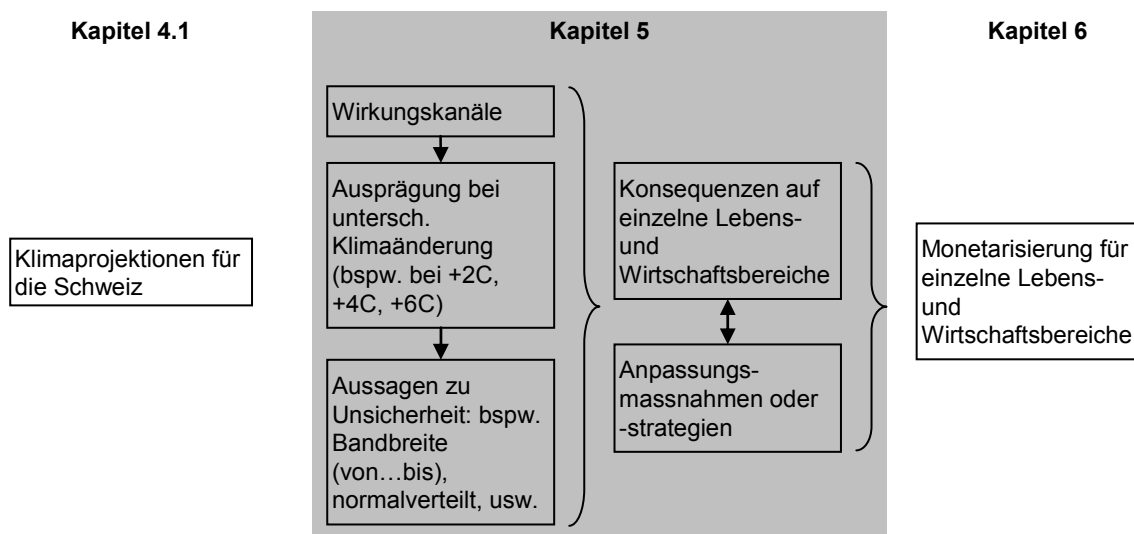
Quelle: IPCC 2001, S. 27.

Für die Schweiz bilden die drei Bevölkerungsszenarien eine sinnvolle Bandbreite möglicher Entwicklungen ab. Die wirtschaftlichen Szenarien (BIP- und Branchenszenarien) bewegen sich dagegen in einem engen Korridor, der nicht ausreicht um die Bandbreite plausibler Entwicklungen abzudecken. Dies ergibt sich bereits daraus, dass sie die verschiedenen Bevölkerungsszenarien unzureichend berücksichtigen und noch auf den älteren Bevölkerungsszenarien mit einer weniger stark wachsenden Bevölkerung basieren. Insbesondere ist eine gesamtwirtschaftliche Entwicklung mit grösserer Dynamik vorstellbar als sie das Szenario „BIP hoch“ abbildet.

Unsicherheit ist im Zusammenhang mit Klimaschäden ein so wichtiges Thema, dass die bewusste Verwendung enger Bandbreiten für zukünftige Entwicklungen in einer Studie wie der vorliegenden fahrlässig wäre. Wir arbeiten deshalb mit einer Bandbreite durchschnittlicher Wachstumsraten von 0.5 bis 2.0%, d.h. wir gehen also bei der oberen Bandbreite von einer dynamischer Entwicklung aus.⁹ Dort wo Bandbreiten von Branchenentwicklungen relevant sind, werden diese – wenn möglich aus Brancheninformationen – jeweils bestimmt und in diesem Bericht ausgewiesen.

⁹ Darin berücksichtigt sind auch die neuen Bevölkerungsszenarien aus dem Jahre 2006, die mit einer stärkeren Zunahme der Bevölkerung rechnet als die älteren Bevölkerungsszenarien aus dem Jahre 2001, die für die Szenarien der wirtschaftlichen Entwicklung unterstellt wurden.

5 Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz



Das vorliegende Kapitel baut auf dem OcCC-Bericht (2007) auf und fasst die für diesen Bericht wesentlichen Erkenntnisse zusammen. Für die Studie wichtige Teilaspekte wurden mit Expertengesprächen vertieft (vgl. Tabelle 5-1). Bei diesen Expertengesprächen wurde vor allem darauf geachtet, dass allfällige zusätzliche Erkenntnisse zu **Eintretenswahrscheinlichkeiten** in die vorliegende Studie einfließen können (beim OcCC-Bericht wurden nur jeweils die Median-Vorgaben der Klimaprojektionen berücksichtigt). Ein weiterer zentraler Punkt waren die möglichen **Anpassungsmassnahmen** (geplante oder reaktive; diese Anpassungsmassnahmen sind in den OcCC-Berichten nur teilweise ausgeführt und müssen durch Expertenmeinungen ergänzt werden).

Tabelle 5-1: Liste der geführten Experteninterviews

Fachbereich	Institution	Ansprechpartner
Tourismus	FIF Uni Bern Geogr. Inst. Uni Zürich	Prof. Hansruedi Müller Dr. Bruno Abegg
Menschliche Gesundheit	Institut für Sozial- und Präventivmedizin Uni Basel	Prof. Charlotte Braun-Fahrländer
Hydrologie, Gewässer	BAFU	Dr. Bruno Schädler
Landwirtschaft, Vegetation	Agroscope Reckenholz-Tänikon ART	Prof. Dr. Jürg Fuhrer
Landwirtschaft, Struktur	IAW ETHZ	Prof. Bernard Lehmann
Landwirtschaft, Struktur	IAW ETHZ	Dr. Werner Hediger
Assekuranz	Aller Risk Management, Zürich	Dörte Aller
Infrastruktur	BAFU	Hans Peter Willi
Alle Fachbereiche / Vorgehen / Kontakte	BSS	Dr. Roland Hohmann

Entwicklung der Starkniederschläge

Die Auswertungen der Klimasimulationen erlauben eine grobe Quantifizierung der Niederschlagsextremwerte für Jährlichkeiten zwischen 5 und 50 Jahren. Es zeigen sich nur geringe Unterschiede für die Extreme mit einer Dauer zwischen 1 und 5 Tagen. Die saisonalen und regionalen Änderungen ergeben sich wie folgt (vgl. KOHS (2007)):

- Im Herbst wird mit einer Zunahme der Extremwerte bis zu 10% auf der Alpennordseite respektive 20% auf der Alpensüdseite gerechnet. Im Winter und Frühling liegt die Zunahme beidseits der Alpen zwischen 0 und 20%. Im ungünstigsten Fall kann ein heute 100-jährliches Ereignis in Zukunft zu einem 20-jährlichen werden (Frei et al. 2006). Im Winter und Frühling wird als Folge der Kombination von höheren Spitzen und längerer Dauer eine Zunahme der Niederschlagsvolumen erwartet.
- Für den Sommer erlauben die grosse Variabilität der Resultate sowie das eingeschränkte Vertrauen in die Modellsimulationen keine Aussagen. Allenfalls sind Tendenzen für eine Zunahme nordalpin und eine Abnahme südalpin erkennbar.

Die beschriebenen Szenarien für die Zukunft sind qualitativ konsistent mit den während des 20. Jahrhunderts beobachteten Änderungen des Klimas im Alpenraum, d.h. Zunahme der mittleren Temperatur, der Winterniederschläge und der Häufigkeit von intensiven Niederschlägen.

Auswirkungen auf die Hydrologie

Die Aussagen zu den hydrologischen Auswirkungen, insbesondere der Entwicklung der Hochwasser, beruhen auf qualitativen Beurteilungen anhand des heutigen Wissensstands.

Die nachfolgenden Einschätzungen drücken die mittlere Entwicklung aus. Der extreme Einzelfall lässt sich noch nicht abbilden, da hierfür wesentliche Informationen fehlen. Dazu zählen der zukünftige Verlauf des Niederschlags in Ereignissen und Episoden, die Entwicklung von Vorregen, des Bodenwassergehalts, der Grundwasserstände, ebenso wie die Schneedeckenentwicklung (Aufbau, Schmelze) sowie die Kombination dieser Einflüsse (BWG (2000)). Erhöhte Niederschlagsintensitäten allein bedeuten nicht automatisch erhöhte Abflussspitzen (BWG (2000)). Und schliesslich sind komplexe Prozesse in Einzugsgebieten, z.B. der Einfluss von Seen und ihrer Bewirtschaftung, schwer einschätzbar.

Abfluss-Regimes

Die Regimes verändern sich in Richtung nival (von Schnee geprägt) und pluvial (von Niederschlägen geprägt). Die Schneeschmelze beginnt früher und ist in mittleren und tieferen Lagen von abnehmender Bedeutung. Die Niedrigwasser im Sommer und Herbst werden ausgeprägter.

Abfluss-Volumen

Die jährlichen Niederschlagsvolumen verringern sich um etwa 5 bis 10%. Da die Verdunstung hingegen ansteigt, dürfte sich das mittlere jährliche Abflussvolumen um 7 bis 12% verringern. Die Beiträge des Schmelzwassers der Gletscher sind mit weniger als 1% des Abflusses in grossen Flüssen vergleichsweise gering und können den Rückgang auch vorübergehend nicht kompensieren.

Entwicklung der Hochwasser

Aussagen zur Entwicklung der Hochwasserabflüsse sind saisonal, regional und auch bezogen auf die Einzugsgebietsgrösse differenziert zu betrachten.

Hochwasser in nordalpinen Gebieten unter 1500 m ü.M.

Im Winter sind durch erhöhte Bodenwassergehalte und durch höhere Niederschlagsleistungen höhere Hochwasserspitzen zu erwarten. Trotz Erwärmung bleiben im Mittelland Schneedecken und damit kombinierte Schmelz-/Regenereignisse weiter möglich (z.B. BWG (2000)). Der Einfluss von Schmelzereignissen nimmt wie bisher mit der Höhenlage der Einzugsgebiete im betrachteten Höhenbereich zu. In diesen Gebieten treten bereits heute im Winter und Frühjahr die Jahreshochwasser auf. Sie können auch in Zukunft bis ins Frühjahr vorkommen, werden aber dem Klima entsprechend höher.

Im Sommer werden die Hochwasser besonders in tieferen Lagen geringer ausfallen, weil die Abflussdisposition der Böden durch verringerte Niederschläge und höhere Verdunstung deutlich reduziert ist. Allerdings ist zu beachten, dass im Sommer immer auch mit konvektiven Starkniederschlägen zu rechnen ist, welche hauptsächlich in kleinen Einzugsgebieten zu Hochwasser führen können.

Hochwasser in den nord- und inneralpinen Gebieten über 1500 m ü.M.

Die Regimes in den Alpen wechseln von glazialer (von Gletschern geprägt) zu nivaler Prägung (von Schnee geprägt). Im Winter steigen die Abflüsse wegen gelegentlicher Regenfälle etwas an. Daraus ergeben sich jedoch keine wirklichen Hochwasser. Im Frühjahr sind kleine Schmelzhochwasser möglich, die Spitzen werden grösser als heute. Die Jahreshochwasser werden wie heute im Sommer auftreten und voraussichtlich nicht grösser werden. Im Herbst sind kaum Veränderungen zu erwarten. – Anmerkung: Inneralpine Gebiete, die durch übergreifenden Regen von Süden her betroffen sind, verhalten sich analog zur Alpensüdseite.

Alpensüdseite

Hier werden mangels Differenzierungsmöglichkeiten keine Höhenbereiche unterschieden. Im Winter und Frühjahr lassen die stärker wachsenden Niederschlagsleistungen auch eine entsprechende Hochwasserzunahme erwarten. Im Sommer deuten abnehmende Niederschläge auf kleinere Abflussspitzen hin. Massgebend für die Jahreshochwasser bleiben die hydrometeorologischen Bedingungen im Herbst. Dabei lassen die höheren Niederschlagsleistungen eine Zunahme der Hochwasser erwarten.

Feststofftransport

Durch den Rückzug der Gletscher und das Auftauen von Permafrost nimmt in Gebieten zwischen ca. 2300 und 2800 m ü.M. das Feststoffpotenzial deutlich zu. Intensivere flüssige Niederschläge steigern auch das Potenzial für den Transport von Feststoffen.

Hangrutschungen

In den Voralpen lassen die erwähnten künftigen hydrometeorologischen Bedingungen (Niederschlag, Schneedecke, Verdunstung) im Winter und Frühjahr über längere Phasen auf wassergesättigte Böden schliessen. Daraus leitet sich eine zunehmende Gefahr von Hangrutschungen und auch Feststofftransporten ab.

Betroffener Bereich		Naturgefahren
infolge "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	Frei C (2004), OcCC (2007), KOHS (2007)
	Wirkungskette	gem. regionalen Klimamodellen Frei C (2004), OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Zunahme der witterungsabhängigen Naturgefahren aufgrund der höheren Variabilität der klimatischen Rahmenbedingungen, insbesondere Hochwasser werden tendenziell häufiger, da die Intensität von Starkniederschlägen zunimmt. Steinschlag/Felssturz: Zunahme in Gebieten zwischen 2'600 und 3'000 m ü.M. infolge Auftauens von Permafrost zu erwarten. Gletscherabbrüche stellen vor allem dort eine Gefahr dar, wo abbrechendes Eis in einen Gletscherrandsee stürzen und so eine Überschwemmung auslösen kann. Massenbewegungen reagieren ebenfalls sensibel auf Klimaänderungen, sie werden tendenziell verstärkt
	Betroffene Schadensbereiche	v.a. niederschlagsrelevante Bereiche (Hochwasser, Lawinen, Hanginstabilitäten, Grundwasser, Oberflächengewässer usw.) Stauseen (Erosion/Rutschungen dürften infolge Permafrostauftauens und Gletscherrückgang zunehmen, womit auch die Verlandungstendenz zunimmt)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	tendenziell steigende Unterhaltskosten für von Naturgefahren betroffene Infrastrukturen
	Bemerkungen	Bei den Lawinen zeigt sich keine Tendenz zur Zu- bzw. Abnahme der Lawinenaktivität (Expertenmeinung B. Schädler: eher zunehmendes Risiko). Die Variabilität von Murgängen übersteigt diejenige der Klimaänderungen, weshalb hier keine Aussagen gemacht werden können; immerhin ist ihr Auftreten stark an Hochwasser geknüpft.
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	vorliegende Modellrechnungen gelten als sehr unsicher
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Hochwasserereignis 1999 (schweizweit Jahrhundertereignis, für Zukunft typisch)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Zunahme von extremen 1- bis 5-tägigen Niederschlägen im Winterhalbjahr.
	Unsicherheit	ein klimabedingt intensiver Wasserkreislauf wird heute für das Winterhalbjahr und den gesamten Kontinent als wahrscheinlich angesehen, für sommerliche Starkniederschläge sind zurzeit weder qualitative noch quantitative Angaben möglich (Ch. Frei, in: OcCC (2003))
	Betroffene Schadensbereiche	bezüglich gravitativen Naturgefahren sensible Nutzungen wie Siedlungen, Infrastruktur, Landwirtschaft
	Konsequenz auf Schadensbereiche	Häufigere Hochwasser und gravitative Naturgefahren v.a. im Winter
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind bei den Niederschlägen v.a. in Bezug auf deren Folgen für die Naturgefahren nach wie vor gross
	Bemerkungen	Die Wirkungen von Starkniederschlägen sind abhängig von weiteren Faktoren wie Bodenbedeckung, Schneedecke, Bodenfeuchte usw.

Wasserwirtschaft

Niedrigwasser

Im Vergleich zu den bekannten Trockenregionen der Erde (Südeuropa, Sahelzone etc.) befindet sich die Schweiz mit rund 5'560 m³ verfügbarem Wasser pro Jahr und Einwohner in einer Gunstlage. Die ergiebigen Niederschläge sowie die ausgleichende Wirkung der Gletscher- und Schneeschmelze sorgen für ein vergleichsweise hohes Wasserdargebot. Als Folge der Klimaänderung wird dieses im Sommer und Herbst abnehmen. Gleichzeitig wird der Bedarf der Landwirtschaft an Bewässerungswasser steigen. Dadurch entsteht eine Konkurrenzsituation zwischen ökologischen Anliegen und verschiedenen Verbrauchern und Regionen, insbesondere bei der Nutzung von Grundwasser und kleinen Fließgewässern:

- In der Landwirtschaft kann es wegen Wassermangel zu Produktionseinbussen kommen, allerdings sind bezüglich Bewässerungen keine gesamtschweizerischen Zahlen verfügbar.
- Die Stromproduktion wird vom reduzierten Wasserdargebot und den erhöhten Wassertemperaturen betroffen sein (Wasserkraft, Entnahme von Kühlwasser).
- Wasserversorgungen sind vermehrt zu vernetzen und auf unterschiedliche Ressourcen (Grundwasser aus Quellen und Förderbrunnen, Seewasser) abzustützen; der Grundwasser-Stand weist aber gegenwärtig keine generell sinkende Tendenz auf.
- Bei der Rheinschifffahrt werden in Zukunft Einschränkungen im Sommer erwartet.

Hochwasser

vgl. Entwicklung der Starkniederschläge.

Ökologie

Der Anstieg der Wassertemperaturen wird Auswirkungen auf die aquatischen Ökosysteme haben. Prognosen über die Veränderungen bis 2050 sind jedoch zurzeit nur bedingt möglich. In Seen wird die Erwärmung zu einer stabileren Dichteschichtung und zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser führen. Dadurch steigt das Risiko von Sauerstoffmangel in mesotrophen (mittlerer Nährstoffgehalt) und vielleicht auch in oligotrophen (wenig Nährstoffe) Seen.

Anpassungsstrategien

Pflanzen zur Produktion von Bioenergie brauchen extrem viel Wasser, sind also nicht unbedingt geeignet, die Energieprobleme in Hitzeperioden auszugleichen. In der Schweiz besteht dieses Problem allerdings (noch) nicht.

Allfälligen Verknappungen bei der Stromproduktion wird mit höheren Strompreisen bzw. einem entsprechenden Ausbau des Stromangebots begegnet.¹⁰

¹⁰ Anmerkung: Zur Abklärung der Entwicklung der hydraulischen Stromproduktion ist gegenwärtig ein Projekt im Rahmen des Konzeptnetzwerks Wasser im Berggebiet in Vorbereitung, welches auf der Basis 1950-2001 Szenarien für Wasserhaushaltsmodelle und gesamtschweizerische Abflusszahlen liefern soll.

Betroffener Bereich		Wasserwirtschaft
infolge "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	Frei C (2004), OcCC (2007), KOHS (2007)
	Wirkungskette	gem.OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Wasserdargebot nimmt im Sommer und Herbst ab Temperatur in Oberflächengewässern nimmt zu, ebenso das Risiko von Sauerstoffmangel in Seen
	Betroffene Schadensbereiche	Konkurrenz zwischen Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft, Wasserkraftnutzung und Ökologie nimmt zu; geringere Kühlleistung (z.B. für AKWs)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	mögliche Produktionseinschränkungen (Landwirtschaft, Elektrizitätsproduktion usw.); hydraulische Stromproduktion wird bis 2035 um insgesamt rund 7% zurückgehen, weil verfügbares Jahresvolumen an Wasser abnimmt (Verlagerung Niederschläge vom Sommer in den Winter, Verlandungstendenz Stauseen wegen grösserer Erosion infolge Permafrostauftaus und Gletscherrückgang) Beeinträchtigung der Fischerei und der Schifffahrt
	Bemerkungen	
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	vorliegende Modellrechnungen gelten als sehr unsicher
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Hitzesommer 2003 (5.1°C über langjährigem Mittel)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Hitzesommer 2003 (heute: > 500-jährliches Ereignis) - 2030: Min: > 500; Median: > 500; Max: 60 - 2050: Min: > 500; Median: 50; Max: 2 - 2070: Min: 500; Median: 5; Max: jedes Jahr
	Unsicherheit	unklar, da neben den globalen Effekten auch lokale Bodenbedingungen und die Wolkenbildung eine Rolle spielen.
	Betroffene Schadensbereiche	wie oben Problem der Kühlung thermischer Kraftwerke bei Wassertemperaturen >28°C mit allfälligen Auswirkungen auf Versorgungssicherheit (der Hitzesommer 2003 hat bei den AKWs zu einer 4% tieferen Jahresproduktion geführt)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	analog Hitzesommer 2003
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind nach wie vor gross
	Bemerkungen	

Landwirtschaft

Eine moderate Klimaerwärmung von weniger als 2-3°C im Jahresmittel bis 2050 wird sich in vielen Fällen positiv auf die Landwirtschaft in der Schweiz auswirken. Die potentielle Jahresproduktion der Wiesen wird als Folge der längeren Vegetationsperiode zunehmen. Aber auch der potentielle Ernteertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wird bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot steigen. Die Tierproduktion wird vom kostengünstigen Futtermittelangebot und Verlängerung der Weideperiode profitieren können. Negative Effekte betreffen eine Zunahme der Evapotranspiration bei gleichzeitiger Abnahme der Niederschläge im Sommer, das Aufkommen von Unkräutern und Schädlingen und die Zunahme der Klimavariabilität und der Extremereignisse. Bei einer stärkeren Klimaerwärmung von mehr als 2-3°C bis 2050 würden die Nachteile überwiegen: Wegen erhöhter Evapotranspiration und Veränderungen bei den Niederschlägen wäre vermehrt mit Wassermangel zu rechnen und beim Getreide und den Körnerleguminosen hätte die beschleunigte Pflanzenentwicklung Ertragseinbussen zur Folge.

Durch Massnahmen bei den Kulturpflanzen, den Anbauverfahren und der Betriebsführung wird sich die Landwirtschaft an einen moderaten Anstieg der mittleren Temperatur von 2-3°C bis 2050 anpassen können. Problematisch ist hingegen die erwartete Zunahme der Witterungsvariabilität und der Extremereignisse. Wegen der Zunahme von Hitze- und Trockenperioden wird es im Sommer vermehrt zu kritischen Bodenwasserzuständen und Dürren kommen und der Bedarf an Bewässerung wird vielerorts steigen. Es wird wichtig sein, das vorhandene Bewässerungswasser möglichst effektiv zu nutzen. Umgekehrt könnte eine Zunahme von Starkniederschlägen die Bodenerosion verstärken. Insgesamt wird das Risiko von Schäden an Spezial- und Ackerkulturen und von Ertragseinbussen im Futterbau zunehmen. Die Ertragssicherheit wird beeinträchtigt werden; geeignete zentrale Massnahmen wie Pflanzenzüchtung und Sortenprüfung werden dazu beitragen, die negativen Auswirkungen abzufedern. Als Strategie der Risikoverminderung bietet sich eine verstärkte Diversifizierung der Betriebe an. Zudem besteht der Bedarf nach Versicherungsdeckung für Ernteverluste infolge extremer Witterungsbedingungen.

Für die künftige globale und nationale Nahrungsmittelversorgung spielen die internationalen Agrarmärkte eine wichtige Rolle. In der Schweiz werden die Liberalisierung der Märkte und die Anpassungen der Agrarpolitik wichtigere Einflussfaktoren sein als die Klimaänderung.

Wald

Bei der Holzproduktion in der Schweiz wird mit einer klimabedingten Zunahme der Zwangsnutzung von bis zu 40 % gerechnet. Weil es sich dabei vor allem um geschädigte Einzelbäume innerhalb gesunder Bestände handelt, steigen die Aufwendungen für die Holznutzung und der Ertrag sinkt. Der wirtschaftliche Schaden lässt sich heute noch nicht abschätzen.

Wie weit sich diese Schäden auf die Schutzfunktionen der Wälder auswirken, ist noch nicht bekannt.

Betroffener Bereich		Landwirtschaft
infolge "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	OcCC (2007)
	Wirkungskette	gem. OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	längere Vegetationsperiode, was sich in höherer Futterproduktion und Nahrungsmittelproduktion auswirkt Zunahme der Evapotranspiration bei gleichzeitiger Abnahme von Niederschlägen äussert sich in Wassermangel und Ertragseinbussen Zunahme der Schädlinge Zunahme von Extremereignissen
	Betroffene Schadensbereiche	v.a. Ackerbau
	Konsequenz auf Schadensbereiche	vermehrter Einsatz von Bewässerungsanlagen Zunahme der Bodenerosion wegen häufigeren Starkniederschlägen
	Bemerkungen	In der Schweiz werden die Liberalisierung der Märkte und die Anpassungen der Agrarpolitik wichtigere Einflussfaktoren sein als die Klimaänderung.
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	vorliegende Modellrechnungen gelten als sehr unsicher
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Hitzesommer 2003 (5.1°C über langjährigem Mittel)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Hitzesommer 2003 (heute: > 500-jährliches Ereignis) - 2030: Min: > 500; Median: > 500; Max: 60 - 2050: Min: > 500; Median: 50; Max: 2 - 2070: Min: 500; Median: 5; Max: jedes Jahr
	Unsicherheit	unklar, da neben den globalen Effekten auch lokale Bodenbedingungen und die Wolkenbildung eine Rolle spielen.
	Betroffene Schadensbereiche	wie oben
	Konsequenz auf Schadensbereiche	analog Hitzesommer 2003
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind nach wie vor gross
	Bemerkungen	

Tourismus

Auswirkungen auf die verschiedenen touristischen Zonen

Häufigere extreme Wetterlagen könnten in Städten vermehrt gesundheitsschädigende Phänomene wie hohe Ozonwerte oder Feinstaubkonzentrationen zur Folge haben und dadurch der Attraktivität der Städte schaden. Andererseits können heisse Sommer zu einer vermehrten Belebung des öffentlichen Raums führen, indem mehr Leute die Sommerferien zu Hause verbringen und Aktivitäten nach draussen verlegt werden.

Im Winter wird die steigende Schneefallgrenze dazu führen, dass Skigebiete in den Voralpen zum Teil nicht mehr rentabel betrieben werden können. Im Sommer können Seenregionen bei vermehrt wärmeren Temperaturen vom Ausflugstourismus der städtischen Bevölkerung profitieren.

Die Klimaänderung führt zu einer vermehrten Gefährdung der Verkehrswege im alpinen Raum, was die Erreichbarkeit der Tourismusorte tangiert. Die abnehmende Schneesicherheit oder die erwarteten Veränderungen im Landschaftsbild, insbesondere durch den Rückzug der Gletscher, werden die Attraktivität der alpinen Tourismusgebiete beeinflussen. Durch Hitzeperioden im Sommer entstehen aber auch Chancen für den Bergtourismus ("Sommerfrische").

Auswirkungen auf touristische Leistungsträger

Mit der Klimaänderung wird die Höhengrenze der Schneesicherheit weiter steigen. Der Anteil an nicht schneesicheren Skigebieten erhöht sich dadurch beträchtlich. Auch der tauende Permafrost stellt für zahlreiche Bergbahnen ein kostspieliges Risiko dar, da Fundamente von Masten und Stationen häufig im gefrorenen losen Gestein verankert sind. Auch wenn warme Sommer mit langen Schönwetterperioden zu einer erhöhten touristischen Nachfrage führen, sind die meisten Bergbahnen entscheidend auf das Wintergeschäft angewiesen, um finanziell überleben zu können.

Die Klimaänderung wird sich auf den Beherbergungssektor vor allem aufgrund der erwarteten Veränderungen im Wintersport auswirken. In Gebieten, wo die Schneesicherheit abnimmt, wird die Beherbergung starke Einbrüche erleiden. Andererseits wird der Druck, insbesondere auch im Zweitwohnungsbereich, in schneesicheren und gut erreichbaren Gebieten steigen. Nebst den klimatischen Veränderungen ist die Hotellerie mit zahlreichen Problemen konfrontiert, welche nicht in Zusammenhang mit der Klimaänderung stehen.

Der Rückzug der Gletscher verändert die alpine Landschaft und führt möglicherweise zu einem Attraktivitätsverlust, während der tauende Permafrost die Gefahr von Steinschlag und Felsstürzen erhöht. Ein vermehrtes Auftreten von Extremereignissen verändert die Gefahrendisposition und bringt Imagerisiken mit sich.

Betroffener Bereich		Tourismus
infolge "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	OcCC (2007), OECD/Abegg (2007)
	Wirkungskette	gem. OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Anstieg der Schneefallgrenze (gem. 100 Tage-Regel) von heute 1'200 m ü.M. auf 1'500 m ü.M. Rückgang der Anzahl Skigebiete von heute 164 (mit mind. 3 Transportanlagen und 5 km Piste) auf 129 (+13/-51), v.a. an Alpennordseite Sommertourismus tendenziell zunehmend infolge angenehmerem Klima im Vergleich mit den Ballungsgebieten
	Betroffene Schadensbereiche	Wintertourismus, insbesondere schneeabhängige Aktivitäten
	Konsequenz auf Schadensbereiche	vermehrter Einsatz von Beschneiungsanlagen Höherlegung der Skigebiete (aufwendigere Bauweise wegen Rückgang des Permafrostes in diesen Gebieten)
	Bemerkungen	
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	in direkter Abhängigkeit von Naturereignissen
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Lawinenwinter 1999 (17 Todesopfer, 300 Mio. Fr. direkte Sachschäden, weitere ca. 300 Mio. Betriebsunterbrüche und Erwerbseinkünften) Hitzesommer 2003 (5.1 °C über langjährigem Mittel)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Lawinen: bisher kein Trend nachweisbar
	Unsicherheit	gross
	Betroffene Schadensbereiche	wie oben
	Konsequenz auf Schadensbereiche	analog Lawinenwinter 1999 bzw. Hitzesommer 2003
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind nach wie vor gross
	Bemerkungen	

Landökosysteme

Die Artenzusammensetzung der Ökosysteme in der Schweiz wird sich langfristig ändern, da die Arten unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren. Einerseits kommt es zu einem Artenschwund, andererseits auch zu einer Einwanderung fremder Pflanzen- und Tierarten aus wärmeren Regionen. So werden sich die Flora und Fauna in der Schweiz noch stärker jenen von tiefer gelegenen und südlicheren Gegenden annähern. An kühle Lebensbedingungen gebundene Arten werden im Alpenraum in höhere Lagen ausweichen. Sie werden sich dort aber auf Grund der Topographie flächenmässig sehr einschränken müssen. Arten, die wenig mobil sind (z.B. Bäume), werden von der Erwärmung besonders beeinträchtigt. Die Landwirtschaft und andere Formen der Bodennutzung werden sich jedoch deutlich stärker auf die Biodiversität auswirken als die Klimaänderung. Häufigere und intensivere Extremereignisse können Ökosysteme lokal gravierend stören, so dass diese zumindest kurzfristig ihre

Schutzwirkung verlieren. Die berechneten mittleren Veränderungen bis 2050 werden jedoch die Lebensraumsicherheit nicht substantiell gefährden.

Die Widerstandskraft und damit die Sicherheit unserer Lebensräume wird durch ein breites Artenspektrum und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ökosysteme gestärkt. Landökosysteme erfüllen nicht nur wichtige Funktionen wie der Schutz vor Naturgefahren, sie liefern auch ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und sauberes Wasser. Diese Leistungen werden in der Zukunft vor allem durch kombinierte Effekte beeinträchtigt, wie z. B. durch hohe Temperaturen zusammen mit geringeren Niederschlägen. Die Produktivität im Wald und im Dauergrünland wird sich spürbar verändern: In höheren Lagen dominiert die Förderung durch Erwärmung, in tieferen Lagen die Hemmung durch sommerliche Trockenheit. Ausgeprägter sommerlicher Wassermangel bei hohen Temperaturen – wie zum Beispiel im Jahr 2003 und abgeschwächt im Sommer 2006 – limitiert die Produktivität stark.

Der Wasserverfügbarkeit wird also in Zukunft grössere Bedeutung zukommen, wobei vor allem die Tallagen und das Hügelland betroffen sind. Die Bewirtschaftung der Landökosysteme wird sich an die veränderten Umweltbedingungen anpassen müssen. So wird die Bedeutung der Hochlagen zukünftig wieder zunehmen.

Urbanität der Schweiz

Die Bevölkerungsentwicklung wird durch die Klimaänderung vermutlich wenig beeinflusst. Der Wandel der demographischen Struktur findet unabhängig von klimatischen Veränderungen statt. Möglicherweise wird sich der Einwanderungsdruck verstärken, wenn sich die wirtschaftlichen Bedingungen aufgrund der Klimaänderung in anderen Ländern stark verschlechtern.

Die Siedlungsentwicklung verläuft weitgehend unabhängig vom Klimawandel ausser in Berggebieten. Sie stehen aufgrund der Bedrohung durch Naturgefahren und der Abhängigkeit vom Wintertourismus unter Anpassungsdruck. In geringerem Masse ist die Siedlungsentwicklung in hochwasserexponierten Gebieten beeinflusst.

Der Einfluss der Klimaänderung auf die Bautätigkeit wird als unwesentlich eingestuft. Diese ist primär konjunkturabhängig. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird ein weiteres substantielles Wachstum erwartet.

Im Transport- und Kommunikationsbereich ist je nach eingeschlagener Strategie eine unterschiedliche Entwicklung zu erwarten. Während bei einer Fortsetzung der bisher eingeleiteten Anpassungen der Verkehr weiter zunimmt, kommt der Wachstumstrend bei einem Kurswechsel basierend auf den Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung zu einem Stillstand. Aufgrund des veränderten Siedlungsmusters mit gestärkten regionalen Zentren ist diese zweite Strategie gegenüber der Klimaänderung weniger verletzlich als die erstgenannte.

Bei der Ressourcenverfügbarkeit wirkt sich die Klimaänderung primär auf die Selbstversorgungsgrade bei der Nahrungsmittelproduktion und der Energieversorgung aus. Je nach Strategie sinkt der Selbstversorgungsgrad im Nahrungsmittelbereich oder nimmt gering zu. Bei der Energieversorgung wird eine Erhöhung des Selbstversorgungsgrades erwartet.

Die Entwicklung der Beziehungen und Abhängigkeiten zum globalen Umfeld sind insbesondere im Hinblick auf die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Energie für das Funktionieren

des urbanen Systems Schweiz entscheidend. Je nach Auswirkungen der Klimaänderung auf andere Regionen sowie weltpolitischen Änderungen könnten die Preise in diesen beiden Bereichen massiv ansteigen.

Insgesamt ist das urbane System Schweiz durch die Klimaänderung nicht als Ganzes gefährdet. Lokale und saisonale Störungen können sich durch die Folgen der Klimaänderung in anderen Regionen noch verstärken.

Bauten und Infrastrukturen

Gebäude

Neuere Gebäude verfügen in der Regel über eine gute Isolation: Diese vermindert zwar während der kalten Jahreszeit den Heizbedarf, kann jedoch andererseits im Sommer die Wärmebelastung während Hitzeperioden erhöhen, wenn die von Geräten, Menschen und Beleuchtung erzeugte Wärme nicht mehr nach Aussen abgegeben wird. Insbesondere in Bürogebäuden kann die hohe Raumtemperatur eine Kühlung erforderlich machen. Mit der Klimaerwärmung nimmt die Länge der Kühlperiode zu und ebenso die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen. Vorausschauende Massnahmen wie die Verwendung energieeffizienter Geräte, Sonnenschutz und eine gute Lüftung können einen effizienten Beitrag zu einem besseren Raumklima leisten.

Auch die Gebäudehüllen müssen sich den verändernden Bedingungen anpassen. Besonders wichtig ist die frühzeitige Anpassung von Baunormen. Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das zukünftige Klima ausgerichtet werden. Die Bedrohung ganzer Bauten resultiert primär aus der erwarteten Zunahme bei den extremen Wetterereignissen. Solche Ereignisse können grosse finanzielle Schäden zur Folge haben. Einen wesentlichen Einfluss auf die Schadenhöhe haben neben der Klimaänderung die zunehmende Wertkonzentration sowie die Ausdehnung von Wohnbauten in Gebiete, die früher als zu risikoreich galten.

Transportwege

Die Trassenstabilität ist bei starken Niederschlagsereignissen direkt und bei hohen Temperaturen indirekt gefährdet. Bei den Niederschlägen wird eine Zunahme der winterlichen Starkniederschläge erwartet, welche die Stabilität von Hängen und Böschungen gefährden sowie zur Unterspülung von Trassen führen können. Der durchschnittliche Temperaturanstieg sowie das vermehrte Auftreten von Hitzeperioden führt zu einer vermehrten Destabilisierung der Hänge im Alpenraum.

Fahrleitungen und Schienen sind primär durch Stürme und Hitzeextreme gefährdet. Umstürzende Bäume können zu Verspätungen und Unterbrechungen des Bahnbetriebs führen. Hohe Temperaturen können Gleisverwerfungen bewirken. Entsprechende Gegenmassnahmen werden bereits heute realisiert: Sicherheitsstreifen auf bewaldeten Strecken sowie ein angepasstes Produktionsverfahren bei den Schienen.

Ebenso wie das Schienennetz ist das Strassennetz durch starke Niederschläge gefährdet. In Bergregionen können Felsstürze, Erdbeben und Murgänge zu Unterbrüchen im Strassen-

verkehr führen. In flacheren Gebieten können Überschwemmungen oder die Unterspülung von Strassenabschnitten Behinderungen zur Folge haben. Die Gefährdung durch Lawinen lässt sich auch bei zusätzlich entstehenden Gefahrengebieten durch entsprechende Massnahmen konstant halten.

Siedlungswasserwirtschaft

Für die Siedlungswasserwirtschaft sind die Konsequenzen der Klimaänderung nur zum Teil abschätzbar. Die Wasserversorgung wird mit grosser Wahrscheinlichkeit trotz veränderter Nachfrage (z.B. erhöhter Bedarf im Sommer) mit einem optimierten Wassermanagement gesichert sein. Bei der Abwasserentsorgung können steigende Temperaturen, Trockenperioden, aber auch intensive Niederschläge möglicherweise Anpassungen im Betrieb von Kläranlagen erfordern.

Städtische Siedlungen

Die Temperaturzunahme sowie das vermehrte Auftreten von Hitzewellen oder Hitzeperioden werden in städtischen Siedlungen die Wärmebelastung erhöhen. Im Hinblick auf die gesundheitlichen Folgen ist eine Berücksichtigung in der Raumplanung dringend erforderlich. Geeignete Massnahmen zur Reduktion der Wärmebelastung, wie z. B. eine gute Durchlüftung, können als zusätzlichen positiven Effekt auch die Luftqualität verbessern. Die Beschattung der Trottoirs durch Bäume ist eine weitere Massnahme, welche in einigen südlicheren Städten heute schon konsequent angewandt wird (z.B. Barcelona).

Energie

In der Schweiz wird der inländische Strombedarf schon in naher Zukunft nicht mehr durch die inländische Stromproduktion und die aktuellen Strom-Importverträge gedeckt werden können. Gegen 2020 müssen die ersten Kernkraftwerke altersbedingt abgeschaltet werden. Gleichzeitig wird die Strom-Nachfrage weiter ansteigen.

Als Folge der Klimaänderung werden die Heizgradtage im Winter abnehmen und die Kühlgradtage im Sommer zunehmen. Dadurch wird in Zukunft im Winter weniger Heizenergie und im Sommer mehr Kühlenergie verbraucht werden. Es kommt zu einer Verlagerung der Nachfrage von den Brennstoffen zu Strom. Die Zunahme der Klimatisierung ist vor allem beim Dienstleistungssektor ausgeprägt.

Bei der Elektrizitätsbereitstellung wird sich die Klimaänderung nachteilig auf die Wasserkraft und die Kernenergie auswirken. Bei der Wasserkraft dürfte der geringere Wasserabfluss bis 2050 zu einer um durchschnittlich 7% geringeren Produktion führen. Bei der Kernenergie führte der Mangel an Kühlwasser im Sommer 2003 zu einer um 4% geringeren Jahresproduktion. Solche Hitzeperioden werden bis 2050 vermehrt auftreten.

Die Chancen der neuen erneuerbaren Energien werden durch die Klimaänderung erhöht. Die Energienachfrage, die Nachfrage nach CO₂-freier Energie und die Energiepreise werden steigen, womit die neuen erneuerbaren Energien konkurrenzfähiger werden. Gemessen am

heutigen Verbrauch kann der Beitrag der neuen erneuerbaren Energien zur Schweizer Stromversorgung bis 2050 auf über 10% (5'500 GWh/a \approx 20 PJ/a) gesteigert werden. Auch die Windenergie kann dazu einen Beitrag leisten. Bei einem Vollausbau aller Windparkstandorte könnte das Gesamtpotenzial von 1'150 GWh/a (\approx 4 PJ/a) bis 2050 ausgeschöpft werden. Einzelanlagen weisen ein zusätzliches Potenzial von 2'850 GWh/a (10 PJ/a) auf. Bei einer Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit als Folge der Klimaänderung ist im Mittel mit einer höheren Stromproduktion aus Wind zu rechnen. Im Falle von Extremereignissen kann es zu Produktionsunterbrüchen an einzelnen Standorten kommen.

Die Notwendigkeit, CO₂-Emissionen zu vermeiden, wirkt sich positiv auf die Nachfrage nach der CO₂-neutralen Holzenergie aus. Das Energieholzpotenzial kann in Zukunft gesteigert werden. Bei einer Ausschöpfung des laufenden Zuwachses im Wald und der vermehrten energetischen Nutzung von Rest- und Altholz sowie Flurholz kann der Verbrauch von Energieholz in Zukunft noch erheblich gesteigert werden. Als Folge der Erwärmung besteht die Möglichkeit, dass sich die Waldfläche in Berggebieten in grösseren Höhen ausdehnt und somit das Potenzial der Holzenergie weiter wächst. Die Klimaerwärmung wird bewirken, dass der Laubholzanteil in den Schweizer Wäldern ansteigen wird. Da die häufigsten Laubhölzer einen merklich höheren Heizwert als Nadelhölzer aufweisen, entsteht somit ein energetisches Potential. Ein maximaler Effekt der Wald und Holzwirtschaft zur Verminderung der CO₂-Emissionen ist allerdings nur dann zu erreichen, wenn der Rohstoff Holz konsequent zuerst stofflich, und erst anschliessend energetisch genutzt wird.

Insgesamt werden die höheren Energiepreise den Anstieg des Energieverbrauchs verlangsamen. Aus Überlegungen der Energieeffizienz wird es zu einer Verlagerung zu Strom kommen. Die Nachfrage nach CO₂-armen Energien (neue erneuerbare Energien und Kernenergie) wird zunehmen. Generell führt die Klimaänderung zu einer Zunahme der Unsicherheiten, weshalb Systeme mit kurzer Pay-back-Dauer bevorzugt werden.

Mit der Klimaänderung nimmt das Risiko von Betriebsunterbrüchen auch im Energiesektor zu. Beispiele dafür sind das Augusthochwasser 2005, welches zu Unterbrüchen bei den Laufkraftwerken führte, oder die hohen Wassertemperaturen im Sommer 2003, welche zu einer reduzierten Energieproduktion der Kernkraftwerke führten. Versicherungslösungen für Sachschaden und Produktionsausfälle werden an Bedeutung zunehmen.

Gesundheit

In der Schweiz ist die Frage nach dem Zusammenhang von Klimaänderung und Gesundheit durch Extremereignisse wie dem Hitzesommer 2003 oder durch die beobachtete langsame Zunahme von Zeckenerkrankungen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt.

Hitzewellen

In der Schweiz stellt die wahrscheinliche Zunahme von Hitzewellen die wichtigste klimabedingte Veränderung für den Gesundheitsbereich dar. Der Hitzesommer 2003 hat mit rund 1'000 vorzeitigen Todesfällen die Anfälligkeit der Bevölkerung aufgezeigt. Ab 2070 sind ähnliche Bedingungen alle paar Jahre zu erwarten.

Der Mensch kann sich an höhere mittlere Temperaturen teilweise anpassen, ähnlich wie dies in südlichen Ländern geschieht, nicht aber an die kurzfristige Zunahme von Hitzewellen. Die Frage, wie schnell sich der menschliche Organismus an neue Temperaturverhältnisse anpasst, wird gegenwärtig untersucht (ISPM Uni Basel, in Vorbereitung). Der Zunahme von hitzebedingter Mortalität durch Hitzewellen kann jedoch mit entsprechenden Massnahmen begegnet werden.

Hitzewellen können auch die Leistung der Arbeitstätigen beeinträchtigen und damit wirtschaftliche Folgen haben. Bei Temperaturen über 30°C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar.

Extremereignisse

Ebenfalls direkte Auswirkungen hat die wahrscheinliche Zunahme von Extremereignissen wie Überschwemmungen und Murgänge. Solche Ereignisse verursachen Tote und Verletzte, haben aber auch gravierende psychische Folgen. Da auch bei optimaler Gefahrvorsorge stets ein Restrisiko bleibt, können solche Auswirkungen nicht völlig verhindert werden.

Lebensmittelübertragene Krankheiten und Schadstoffe

Bei höheren Temperaturen, insbesondere auch Hitzewellen, ist die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen aufgrund verdorbener Lebensmittel und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen), höher. Dies betrifft vor allem den Konsum im Privatbereich, wo im Zuge gesellschaftlicher Veränderungen das Wissen über den sicheren Umgang mit Lebensmitteln abnimmt.

Bei den wasserübertragenen Krankheiten ist ein Anstieg der Gefährdung unwahrscheinlich. Zwar können durch Überschwemmungen Abwässer oder giftige Stoffe in offene Gewässer gelangen, doch ist dank der weitgehenden Trennung von Trink- und Abwassersystemen und der gut kontrollierten Trinkwasserversorgung in der Schweiz die Gefahr von Trinkwasserverschmutzung und der Übertragung von Krankheiten relativ gering.

Eine Erwärmung kann infolge höherer Ozonkonzentrationen sowie möglicherweise infolge höherer Konzentrationen von biogenen Luftpartikeln wie Pollen oder Pilzsporen auch zu erhöhter Häufigkeit von Atemwegserkrankungen führen.

Vektorübertragene Krankheiten

Bei verschiedenen vektorübertragenen Krankheiten könnten wesentliche Veränderungen auftreten, die Abschätzung der Entwicklung ist jedoch noch ziemlich unsicher. Für die Schweiz ist die Ausbreitung rein humanpathogener, exotischer Krankheiten wie Malaria oder Dengue-Fieber eher unwahrscheinlich. Hingegen sind Krankheiten, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden, im Vormarsch, z.B. das West Nile-Fieber. Höhere Temperaturen könnten jedoch auch neue Vektorträger erzeugen oder zu einem Wirtewechsel – auch auf den Menschen – führen.

Auch die Veränderung der Häufigkeit von zeckenvermittelten Krankheiten ist unklar. Die Verbreitung von Zecken weist gegen unten eine Temperaturschwelle auf, in wärmeren Ge-

bieten begrenzt Trockenheit das Vorkommen der Zecken. Ein Temperaturanstieg beeinflusst den Aktivitätszeitraum der Zecken, ev. deren Infektionsrate sowie das Freizeitverhalten der Menschen. Zur Zeit ist eine Zunahme der Zecken- Enzephalitis zu beobachten.

Betroffener Bereich		Gesundheit
info "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	OcCC (2007), WWF Deutschland (2007)
	Wirkungskette	gem. OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Hitzebedingte Belastung wird zunehmen, Kältestress eher abnehmen. Sekundäreffekte wie Sommersmog, hohe Ozonwerte, Luftverschmutzung (Feinstaub) nehmen tendenziell zu.
	Betroffene Schadensbereiche	Beschäftigte in allen Sektoren, Energie (Zunahme an Kühlenergie)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	Verringerung der Produktivität der Arbeitsleistung im Bereich 26 bis 36°C zwischen 3 und 12% (punktuell wesentlich höher), eine allfällige Zunahme hitzebedingter Krankheiten nicht eingerechnet
	Bemerkungen	
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	in direkter Abhängigkeit von Naturereignissen
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Hitzesommer 2003 (5.1°C über langjährigem Mittel)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Hitzesommer 2003 (heute: > 500-jährliches Ereignis) - 2030: Min: > 500; Median: > 500; Max: 60 - 2050: Min: > 500; Median: 50; Max: 2 - 2070: Min: 500; Median: 5; Max: jedes Jahr
	Unsicherheit	Gross, Anpassung des menschlichen Körpers an schleichende Klimaänderung wahrscheinlich, offen ist wie schnell das geht
	Betroffene Schadensbereiche	Generell die gesamte Wirtschaft und Bevölkerung, Energieverbrauch (Kühlung)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	Zunahme der Sterblichkeit pro °C Temperaturanstieg liegt bei 0.7% (ab 10°C) und 3.6 % (ab 24°C), betroffen sind v.a. ältere und geschwächte Personen
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind nach wie vor gross
	Bemerkungen	

Versicherungs- und Finanzsektor

In den vergangenen Jahrzehnten haben die durch Naturereignisse verursachten Schäden weltweit und in der Schweiz zugenommen. Diese Entwicklung ist aber auch bedingt durch sozioökonomische Veränderungen: Die versicherten Werte haben zugenommen, immer mehr versicherte Werte befinden sich in exponierten Gebieten, die Schadenempfindlichkeit von Bauten ist wegen Bauart und Materialwahl gestiegen und die Versicherungsdurchdringung hat zugenommen. Wie gross der Einfluss der Klimaänderung auf den beobachteten Anstieg der Schäden war, ist unklar. Auch in Zukunft wird sich das Gefährdungsbild durch Naturgefahren wegen gesellschaftlicher Veränderungen oder wegen der Klimaänderung verändern und die Schäden werden zunehmen.

Anpassungsstrategien

Frühzeitige Anpassungen sind auf verschiedenen Ebenen erforderlich:

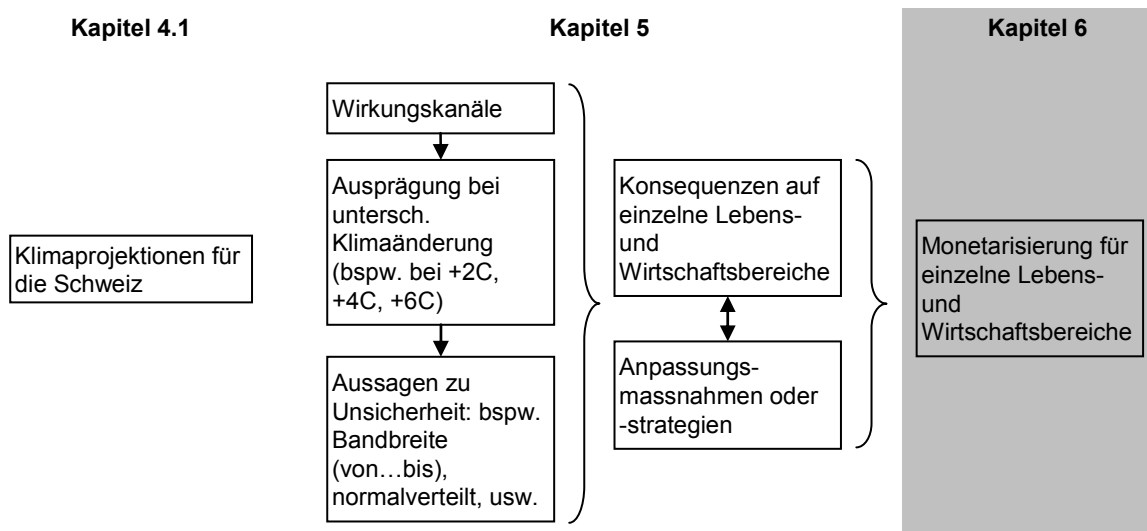
- Damit Versicherungen und Rückversicherungen im Schadenfall zahlen können, müssen sie wirtschaftlich sein. Bei häufigeren und stärkeren Naturereignisschäden müssen somit die Prämien erhöht oder die Deckung eingeschränkt werden. Um bei einer höheren Variabilität von Naturereignissen wirtschaftlich zu bleiben, müssen zudem die Versicherungen entweder ihr Kapital oder ihre Rückversicherungsdeckung erhöhen.
- Sollten starke Naturereignisse häufiger eintreten, müssen präventive Massnahmen getroffen werden, um das Risiko wieder versicherbar zu machen. Als langfristige Massnahmen gegen zunehmende Schäden von Naturgefahren wirken nur Anpassungen und Durchsetzung der Raumplanung und der Bau-Normen. Versicherungen und Rückversicherungen werden nach wie vor für die Schäden von seltenen Ereignissen aufkommen.
- Zurzeit werden in der Versicherungsindustrie neue Produkte entwickelt, die es erlauben, mit häufigen und intensiven Schadensereignissen mit einer hohen Variabilität umzugehen. 'Cat-Bonds' sind erste Ansätze. Ihr Marktanteil ist im Vergleich zur klassischen Versicherung und Rückversicherung jedoch sehr klein.

Es ist wichtig, dass die Erkenntnisse der Forschung zu möglichen Konsequenzen der Klimaänderung, insbesondere der Extremereignisse, schon heute in die Risikomodelle zur Abschätzung des Schadenpotenzials der Versicherungswirtschaft und sämtlicher anderer Wirtschaftszweige mit einfließen.

Zukünftig wird auch das Risikobewusstsein wieder verstärkt werden müssen, damit Ereignisse die Gesellschaft nicht unvorbereitet treffen (z.B. falsche Sicherheit hinter Schutzbauten).

Betroffener Bereich		Versicherung
infolge "schleichender" Klimaveränderung	Quelle	Frei C (2004), OcCC (2007), KOHS 2007)
	Wirkungskette	gem. OcCC (2007)
	Erwartete Veränderung gegenüber 1990	Zunahme der witterungsabhängigen Naturgefahren aufgrund der höheren Variabilität der klimatischen Rahmenbedingungen, insbesondere Zu den klimabedingten Veränderungen beim Hagel sind noch keine Prognosen möglich Hochwasser werden tendenziell häufiger, da die Intensität von Starkniederschlägen zunimmt. Steinschlag: Zunahme in Gebieten zwischen 2'600 und 3'000 m ü.M. infolge Auftauens von Permafrost zu erwarten. Gletscherabbrüche stellen vor allem dort eine Gefahr dar, wo abbrechendes Eis in einen Gletscherrandsee stürzen und so eine Überschwemmung auslösen kann. Massenbewegungen reagieren ebenfalls sensibel auf Klimaänderungen, sie werden tendenziell verstärkt Hitzebedingte Belastung wird zunehmen, Kältestress eher abnehmen. Sekundäreffekte wie Sommersmog, hohe Ozonwerte, Luftverschmutzung (Feinstaub) nehmen tendenziell zu.
	Betroffene Schadensbereiche	v.a. niederschlagsrelevante Bereiche (Hochwasser, Lawinen, Hanginstabilitäten, Grundwasser, Oberflächengewässer usw.)
	Konsequenz auf Schadensbereiche	abhängig vom Schadenspotenzial
	Bemerkungen	Bei den Lawinen zeigt sich keine Tendenz zur Zu- bzw. Abnahme der Lawinenaktivität. Die Variabilität von Murgängen übersteigt diejenige der Klimaänderungen, weshalb hier keine Aussagen gemacht werden können; immerhin ist ihr Auftreten stark an Hochwasser geknüpft. Die Versicherungen sind vor allem in den gelben Gefahrenzonen aktiv, wo grosse Schäden auftreten können, aber wenig Massnahmen ergriffen werden.
durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Aussage (Quelle)	Extremereignisse und Klimaänderung, OcCC (2003)
	Wahrscheinlichkeit	in direkter Abhängigkeit von Naturereignissen
	Wirkungskette	situativ, kaum voraussehbar
	Typ-Ereignis	Hochwasser 1999 (schweizweit Jahrhundertereignis), allerdings mit Schäden von 2005 zu vergleichen (Verbindung mit grossflächigen Erdbeben, wie sie zukünftig mehr auftreten werden); Hitzesommer 2003 (5.1°C über langjährigem Mittel)
	Erwartete Häufigkeit 2050/2100	Zunahme von extremen 1- bis 5-tägigen Niederschlägen im Winterhalbjahr.
	Unsicherheit	ein klimabedingt intensivierter Wasserkreislauf wird heute für das Winterhalbjahr und den gesamten Kontinent als wahrscheinlich angesehen, für sommerliche Starkniederschläge sind zurzeit weder qualitative noch quantitative Angaben möglich (Ch. Frei, in: OcCC (2003))
	Betroffene Schadensbereiche	bezüglich gravitativen Naturgefahren sensible Nutzungen wie Siedlungen, Infrastruktur, Landwirtschaft
	Unsicherheit	die Unsicherheiten sind bei den Niederschlägen v.a. in Bezug auf deren Folgen auf die Naturgefahren nach wie vor gross
	Bemerkungen	Abhängigkeit von Ereignissen im Ausland (Rückversicherungen)

6 Schadenskosten des Klimawandels in der Schweiz



6.1 Priorisierung und Überblick über die untersuchten Bereiche

Die klimabedingten Schäden wurden in der Schweiz das letzte Mal durch die NFP31-Studie, Meier Ruedi (1998), abgeschätzt. Die Tabelle 6-2 zeigt die in der NFP31-Studie berechneten Schäden für das Jahre 2050. Die Tabelle zeigt auch, welche Bereiche prioritär zu untersuchen sind. Die Priorisierung wurde nach Rücksprache mit dem Auftraggeber nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Ausmass der Schäden gemäss NFP31-Studie
- Neue Erkenntnisse aus dem OcCC-Bericht, aus den Berichten zu den vergangenen Extremereignissen oder weiteren neuen Forschungsergebnissen.

Die untersuchten Lebens- und Wirtschaftsbereiche

In Anlehnung an neuere internationale Studien und an die Systematik der OcCC werden folgende Lebens- und Wirtschaftsbereiche für die Monetarisierung unterschieden:

Tabelle 6-1: Untersuchte Schadensbereiche in vorliegender Studie

Lebens- und Wirtschaftsbereich	Schleichende Klimaänderung	Extremereignisse
Tourismus	monetarisiert	
Bauten und Infrastruktur		monetarisiert
Energie	monetarisiert	
Menschliche Gesundheit		monetarisiert
Wasserwirtschaft		Qualitativ
Landwirtschaft		Qualitativ
Wald		Qualitativ

Tabelle 6-2: Schadensschätzungen gemäss NFP31-Studie und Priorisierung für vorliegende Studie

Schadensbereich	Schätzung NFP31 [Mrd. CHF]		Priorität vorliegende Untersuchung	Begründung
	von	bis		
Wintertourismus	-1.63	-2.13	1	Grösste Bedeutung gemäss NFP31 (70% der gesamten Schäden). Neue Erkenntnisse (OECD-Bericht). Methodik NFP31 fraglich (keine Anpassungsmassnahmen berücksichtigt)
Extremereignisse: Hochwasser / Überschwemmungen / usw. **)	-0.14	-0.45	1	Relativ grosse Bedeutung gemäss NFP 31 (15%). Neue Erkenntnisse gemäss OcCC. Auswertung neuer Versicherungsdaten, WSL-Daten, usw.
Hitze / Trockenheit / Grundwasser / Wasserversorgung **)	-0.20	-0.2	1	Relativ grosse Bedeutung gemäss NFP 31 (6%). Neue Erkenntnisse gemäss OcCC.
Energie	0.03	0.03	2	Neue Erkenntnisse aus Energieperspektiven
Wald	-0.04	-0.04	2	Neue Erkenntnisse aus OcCC (vermutlich positive Auswirkungen nach Anpassungsmassnahmen)
Landwirtschaft	-0.03	-0.07	2	Neue Erkenntnisse aus OcCC (vermutlich positive Auswirkungen nach Anpassungsmassnahmen)
Sommertourismus *)	-0.05	-0.05	3	Keine wesentlichen neuen Erkenntnisse für die Schweiz (vermutlich positivere Einschätzung)
Sommerstürme / Winterstürme	-0.11	-0.11	nicht relevant	Gemäss Experteneinschätzung gibt es eine Verschiebung der Sturmfronten.
Wanderungen/Flüchtlinge	-0.08	-0.08	nicht untersucht	Wird in Studie Infrac/Ecologic/Rütter+Partner AG untersucht.
Total NFP 31	-2.25	-3.10		

*) Bei NFP31: Attraktivitätsverlust durch Gletscherschwund (negativ), Sommerfrische (positiv)

**) teilweise werden hier auch Effekte der schleichenden Klimaänderung miteinbezogen

Priorität:

1 = Neue Methodik (Wintertourismus) bzw. Aufarbeitung neuer Erkenntnisse (v.a. Extremereignisse, aktualisierte WSL-Zahlen und Versicherungsdaten)

2 = Übernahme bestehender Schätzungen (Energie), Querbezüge aus internationalen Studien, bzw. qualitative Einschätzung (Landwirtschaft und Wald)

3 = Sommertourismus wird nicht speziell untersucht, aber im Rahmen der Betrachtung des Wintertourismus thematisiert.

6.2 Methodik der Schadenskostenermittlung

In den zu monetarisierenden Bereichen berechnen wir – mit Ausnahme des Tourismusbereichs - nur die direkten Schadenskosten (vgl. Tabelle 6-3). Bei diesen direkten Schadenskosten wird vernachlässigt, dass der klimabedingte Schaden den Preis beeinflussen kann, bspw. den Strompreis oder die Höhe der Versicherungsprämien (partieller Gleichgewichtseffekt). Weiter können Veränderungen in einem Markt (bspw. dem Strommarkt) weitere Märkte beeinflussen (genereller Gleichgewichtseffekt). Diese indirekten Auswirkungen wurden in den Bereichen Bauten und Infrastruktur, Energie und menschliche Gesundheit nicht berücksichtigt. Im Bereich Tourismus wurden sowohl direkte und indirekte Auswirkungen berücksichtigt. Im Unterschied zu den anderen Bereichen wurde im Tourismus (v.a. in Bezug auf den Wintertourismus) auch die internationale, wirtschaftliche Verflechtung miteinbezogen. Methodisch nicht berücksichtigt werden die klimabedingten Auswirkungen auf das Investitionsverhalten (Wachstumseffekte).

Tabelle 6-3: Methoden zur Monetarisierung in den vier Schadensbereichen

Lebens- und Wirtschaftsbe- reich	Vorgehen	Direkte Schadens- kosten	Direkte+indi- rekte Scha- denskosten
Tourismus	Statisches Mehrländer-Gleichgewichtsmodell mit Disaggregation im (Winter)tourismus		X (Wohlfahrts- verluste)
Bauten und Infrastruktur			
- Hochwasser	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit des Hochwasserereignisses 1999	X	
- Geschiebe	Grobe Experteneinschätzung	X	
- Murgänge	Grobe Experteneinschätzung	X	
Energie			
- Strom- produktion Wasserkraft	Verminderte Stromproduktion in Wasserkraftwerken aufgrund Rückgang der Niederschläge und Abflussmengen, bewertet mit künftigem von Energiepolitik und zur Verfügung stehenden Technologien abhängigem Stromproduktionspreis (inkl. externe Gebäude- und Gesundheitskosten)	X	
- Klimatisierung	Erhöhter Stromverbrauch für Klimatisierung, bewertet mit künftigem Stromproduktionspreis	X	
- Heizung	Verminderter Heizenergiebedarf, bewertet mit künftigem Preis für Heizenergeträgermix	X	
Menschliche Gesundheit			
- Leistungs- einbussen	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit eines Hitzesommers 2003, verminderte Arbeitsproduktivität an Outdoor-Arbeitsplätzen	X	
- erhöhte Mortalität	Erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit eines Hitzesommers 2003 (Zunahme der Mortalität bei den über 60-Jährigen)	X (nicht marktliche Auswirkun- gen)	

6.3 Tourismus

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie betrachtet verschiedene Schadens- und Nutzenbereiche, die wir zusammenfassend nachfolgend kurz darstellen (Seiten 83ff).

- **Verluste der existenziell bedrohten Wintersportregionen**

Die Bruttowertschöpfung des Wintersporttourismus in der Schweiz wird auf 5.3 Mrd. CHF geschätzt. Diese setzen sich zusammen aus dem direkten touristischen Umsatz von 3 Mrd. CHF (Gästeaufkommen von 30 Mio. Tagen mit durchschnittlichen Ausgaben von 100 CHF/Tag), dem indirekten touristischen Umsatz (Vorleistungen und Investitionen) von 1.3 Mrd. CHF und dem Einkommensmultiplikatoreffekt von 1 Mrd. CHF. Ein weitgehender Ausfall des Wintersporttourismus wird für die subalpinen Skiorte und für den Jura angenommen. Bei den hochalpinen Skiorten wird mit einer Einbusse aufgrund des Rückgangs der Schneedauer gerechnet.

Insgesamt wird unterstellt, dass 30% bis 40% oder **1.6 bis 2.1 Mrd. CHF** Wertschöpfungsverlust entstehen kann.

- **Verkürzung der Wintersaison für die hochalpinen Lagen**

Es wird davon ausgegangen, dass dank Schneekanonen (Mehraufwand nicht beziffert) und höherwertigen Bahnerschliessungen (kein Mehraufwand, da aus anderen als klimatischen Gründen umgesetzt) ein gewisser Ausgleich für die verkürzte Schneeperiode geschaffen werden kann. Positiv dürfte sich die Verlagerung der Nachfrage hin zu den hochalpinen Lagen auswirken (Schweiz und Ausland). Als negativer Punkt wird der fehlende Schnee im Mittelland erwähnt, der das Bedürfnis nach Wintersport reduziert. Weitere Bremsfaktoren sind die stärkere Konzentration auf weniger Spitzentage und die Limitierungen aufgrund zusätzlicher Gefahrenzonen. Beide Bremsfaktoren führen zu höheren Preisen.

Insgesamt wird davon ausgegangen, dass sich für die hochalpinen Lagen Vor- und Nachteile in etwa die Waage halten, dass somit **keine wesentlichen Verluste bzw. Gewinne** anfallen.

- **Rückgang der Gletscher: Gletscherskifahren und Attraktivitätsverlust**

Es wird davon ausgegangen, dass das Gletscherskifahren verschwinden wird und ein Verlust von 30 Mio. CHF entsteht.

Der Attraktivitätsverlust wird – ohne nähere Begründung, als erste grobe Schätzung - auf 3% des Umsatzes im Berggebiets-Sommertourismus geschätzt. Bei einem gesamten Umsatz von 5 Mrd. wird mit einem Attraktivitätsverlust von 150 Mio. CHF gerechnet.

- **Sommerfrische**

Die höheren Sommertemperaturen in tiefern Lagen bieten auch eine Chance für den Bergtourismus im Sommer. Mit dem Verweis auf eine EU-Studie wird unterstellt, dass ein Wachstum des Sommertourismus um 2% möglich ist, also ein zusätzliches Umsatzplus von 100 Mio. CHF erzielt werden kann.

Die NFP-31-Studie weist darauf hin, dass das im Wintersport nicht ausgegeben Geld anderweitig konsumwirksam werden kann, verzichtet aber auf die Erstellung einer „Gesamtbilanz“, bei der Nachfrageänderungen und entsprechende Verschiebungen in den Konsumenten-Produzentenrenten berücksichtigt werden.

b) Resultate weiterer Studien

Die beiden wichtigsten und aktuellsten Studien zur Thematik Wintertourismus bzw. Tourismus allgemein sind im Folgenden kurz vorgestellt.

OECD/Abegg (2007), Climate Change in the European Alps¹¹

Im Hinblick auf die vom Klimawandel besonders betroffene Alpenregion hat die OECD/Abegg im Jahr 2007 eine umfassende Studie zu den Auswirkungen und Anpassungen im Wintertourismus erstellt.¹² Mit der Klimaerwärmung wird die Schneegrenze steigen. Tiefer gelegene Skigebiete werden längerfristig – auch wenn Anpassungsmassnahmen wie künstliche Beschneigungen in Betracht gezogen werden – nicht mehr existieren können. Die OECD/Abegg-Studie setzt hier an und versucht erstmals für den gesamten Alpenbogen – also für die Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien – den Rückgang der schneesicheren Gebiete in Abhängigkeit der Klimaerwärmung zu quantifizieren:

- Insgesamt wurden 666 alpine Skigebiete mit mindestens drei Transportanlagen, fünf Kilometer Piste und einem permanenten Winterbetrieb in die Untersuchung miteinbezogen, was über 80% der gesamten Skigebietsfläche entspricht.
- Die Schneesicherheit ist dann gegeben, wenn an mindestens 100 Tagen, mindestens 30cm Schnee liegt. Für die Schweiz liegt diese «Schneesicherheitsgrenze» heute bei 1200 m.ü.M (exkl. Tessin). Für die östlichen Gebiete in Österreich und Bayern liegt diese Grenze bei 1050 m.ü.M. Deutlich höher – nämlich bei 1500 m.ü.M. – liegt sie für die auf der Alpensüdseite gelegenen Skigebiete. Ein Skigebiet gilt dann als schneesicher, wenn diese Bedingung für die höher gelegene Hälfte des Skigebiets erfüllt ist. Von den 666 untersuchten Gebieten erfüllen 609 Skigebiete diese Kriterien, d.h. sind schneesicher (vgl. dazu Tabelle 6-4 und Grafik 6-1).
- Jede Erwärmung um +1°C führt zu einer Erhöhung der Schneesicherheitsgrenze um 150m. Für +2°C bzw. +4°C Erwärmung steigt diese Grenze gegenüber heute um 300 bzw. 600m. Bei einer Erwärmung von +1°C sinkt die Anzahl der schneesicheren Skigebiet im gesamten Alpenbogen von 609 auf 500 (vgl. dazu Tabelle 6-4 und Grafik 6-1). Bei einer Temperaturerhöhung von +2°C bzw. +4°C sinkt die Zahl der schneesicheren Gebiet auf 404 bzw. 202. Pro +1°C sinkt somit die Zahl der schneesicheren Skigebiete um rund 100.

¹¹ OECD (2007), Climate Change in the Alps, Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management.

¹² Die OECD-Studie (2007) widmet sich neben dem Wintertourismus auch der wachsenden Gefährdung von Siedlungen und Infrastrukturen durch Naturrisiken.

Die Auswirkungen auf die Schweiz können wie folgt zusammengefasst werden:

- *Auch der Schweizer Wintertourismus ist von der Klimaerwärmung betroffen:* Von den 164 untersuchten Schweizer Skigebieten gelten heute 159 als schneesicher. Bei einer Erwärmung um +1°C sind es noch deren 142. Am stärksten trifft es die Ostschweiz und die Waadtländer und Freiburger Alpen. Bei +4°C sinkt die Zahl der schneesicheren Skigebiete auf 78. Bei einer solch starken Temperaturerhöhung sind bis auf das relativ schneesichere Wallis und Bündnerland fast alle Regionen betroffen.

Von der steigenden Schneegrenze sind selbstredend die tiefer liegenden Skigebiete betroffen. Zu erwähnen ist, dass diese gefährdeten Skigebiete nicht besonders umsatzstark sind. Die meisten grossen Skigebiete der Schweiz gelten alle – auch für die Zukunft – als relativ schneesicher.

- *Im internationalen Vergleich trifft die Klimaerwärmung den Schweizer schneeabhängigen Wintertourismus weniger stark:* Schon eine geringe Temperaturerhöhung um +1°C wird längerfristig rund ¾ der Skigebiete in Oberbayern, Allgäu und Schwaben zum Verschwinden bringen. Relativ stark betroffen ist auch Österreich, deren Skigebiete im Durchschnitt deutlich tiefer liegen als die Schweizer. Nicht ganz so hart wird es den italienischen und französischen Skigebieten ergehen, bei denen vor allem die südlicheren Skigebiete stark gefährdet sind.

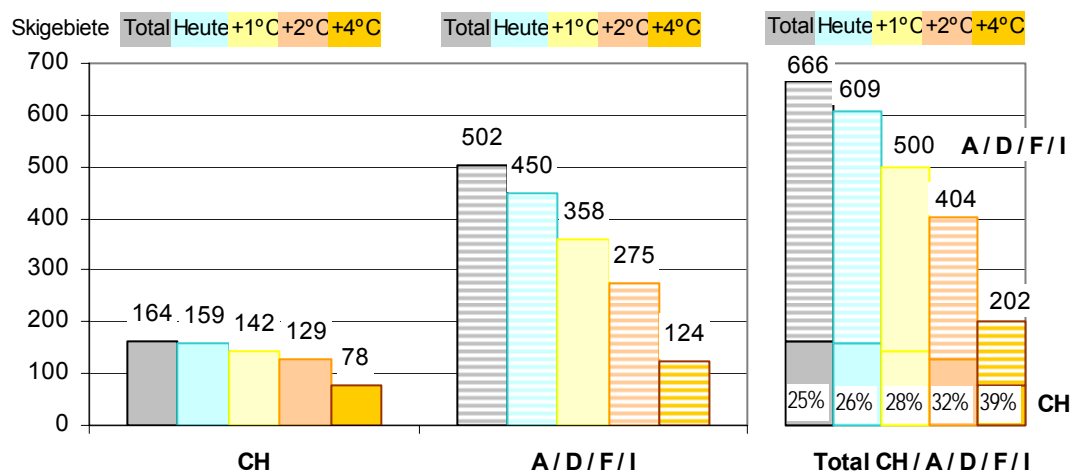
Im internationalen Vergleich steigt der Anteil schneesicherer Schweizer Skigebiete von heute 25% bei einer Erwärmung von +4°C bis auf 39%.

Tabelle 6-4: Abnahme der schneesicheren Skigebiete in der Schweiz (CH), Österreich (A), Deutschland (D), Frankreich (F), Italien (I) in Abhängigkeit der Klimaerwärmung

		Skigebiete			schneesichere Skigebiete					
		Total	Heute		+1°C		+2°C		+4°C	
CH	Ostschweiz	12	10	-17%	7	-42%	7	-42%	1	-92%
	Wadtländer/Freiberger Alpen	17	17	0%	11	-35%	9	-47%	1	-94%
	Berner Oberland	26	25	-4%	22	-15%	16	-38%	3	-88%
	Zentralschweiz	20	18	-10%	15	-25%	11	-45%	4	-80%
	Tessin	4	4	0%	3	-25%	2	-50%	0	-100%
	Graubünden	36	36	0%	35	-3%	35	-3%	30	-17%
	Wallis	49	49	0%	49	0%	49	0%	39	-20%
	Total CH	164	159	-3%	142	-13%	129	-21%	78	-52%
A	Vorarlberg	25	19	-24%	16	-36%	12	-52%	3	-88%
	Tirol	79	75	-5%	61	-23%	45	-43%	23	-71%
	Salzburg	39	35	-10%	29	-26%	24	-38%	9	-77%
	Kärnten	24	20	-17%	15	-38%	14	-42%	7	-71%
	Oberösterreich	11	7	-36%	4	-64%	2	-82%	0	-100%
	Niederösterreich	13	9	-31%	2	-85%	1	-92%	0	-100%
	Steiermark	37	34	-8%	26	-30%	17	-54%	5	-86%
	Total A	228	199	-13%	153	-33%	115	-50%	47	-79%
D	Oberbayern	20	18	-10%	8	-60%	3	-85%	1	-95%
	Schwaben/Allgäu	19	9	-53%	3	-84%	2	-89%	0	-100%
	Total D	39	27	-31%	11	-72%	5	-87%	1	-97%
F	Alpes Maritimes	9	9	0%	7	-22%	2	-78%	1	-89%
	Drôme	4	1	-75%	0	-100%	0	-100%		-100%
	Haute-Provence	10	10	0%	9	-10%	7	-30%	1	-90%
	Isère	19	19	0%	16	-16%	12	-37%	7	-63%
	Hautes Alpes	27	27	0%	24	-11%	19	-30%	9	-67%
	Savoie	42	42	0%	40	-5%	38	-10%	30	-29%
	Haute Savoie	37	35	-5%	27	-27%	18	-51%	7	-81%
	Total F	148	143	-3%	123	-17%	96	-35%	55	-63%
I	Piemonte	18	18	0%	16	-11%	15	-17%	5	-72%
	Lombardia	6	6	0%	6	0%	5	-17%	4	-33%
	Trentino	20	19	-5%	16	-20%	14	-30%	3	-85%
	Südtirol	32	31	-3%	27	-16%	20	-38%	7	-78%
	Friuli/Venezia	11	7	-36%	6	-45%	5	-55%	2	-82%
	Total I	87	81	-7%	71	-18%	59	-32%	21	-76%
Total CH		164	159	-3%	142	-13%	129	-21%	78	-52%
Total A/D/F/I		502	450	-10%	358	-29%	275	-45%	124	-75%
Total A/D/F/I		666	609	-9%	500	-25%	404	-39%	202	-70%
Anteil Skigebiete CH		25%	26%		28%		32%		39%	
Anteil Skigebiete A/D/F/I		75%	74%		72%		68%		61%	

Quelle: OECD (2007), Climate Change in the European Alps.

Grafik 6-1: Abnahme der schneesicheren Skigebiete in Abhängigkeit der Klimaerwärmung



Neben den Auswirkungen auf die Schneesicherheit der Skigebiete hat die OECD/Abegg-Studie auch mögliche „technische“ Anpassungsmassnahmen genauer studiert:¹³

- *Landschaftliche Anpassungen, Pistenbau*

Das Ziel dieser Anpassungen ist es, die für die Wintersportaktivitäten nötige Schneetiefe zu verringern, mit Massnahmen wie maschinelle Pistenbegradigungen, Schneezäune („snow farming“), Pflanzen von Bäumen zur Beschattung der Pisten, Entwässerungen, Windschutz, Pistenpräparierung usw.. Mit diesen Massnahmen können zusätzliche „Schneetage“ gewonnen werden, aber das Problem der steigenden Temperaturen nicht gelöst werden. Diese Massnahmen können auch die Erosion verstärken und das Landschaftsbild beeinträchtigen.

- *Verlegung der Skipisten in höhere Lagen und auf Nordhänge*

Mit diesen Massnahmen soll der Wintersport auf die lokalklimatisch am besten geeigneten Gebiete verlagert werden. Diese Entwicklung ist seit längerem beobachtbar. Mit den „bodenunabhängigen Transportanlagen“ wird nicht nur mehr, bequemer und sicherer transportiert, sondern es können auch vormals nicht erschlossene Gebiete erreicht werden. Dieser Entwicklung sind allerdings auch Grenzen gesetzt: Nordhänge sind für Skifahrer nicht sonderlich attraktiv, höhere Lagen sind nicht immer verfügbar, bergen ein höheres Risiko (stärkere Winde, Lawinengefahr, usw.) und sind ökologisch anfälliger als tiefere Lagen.

- *Gletscherskifahren*

Längerfristig ist das Gletscherskifahren keine ergiebige Alternative für den schneeabhängigen Wintersport, da die Gletscher in Zukunft stark zurückgehen werden. Die bisher punktuell eingesetzten Gletscherabdeckungen können den allgemeinen Gletscherschwund nicht aufhalten.

- *Künstliche Beschneigung*

Die künstliche Beschneigung wird heute in allen Ländern grossflächig eingesetzt. In der Schweiz hat die beschneite Pistenfläche von 1.5% (1990) auf heute 18% zugenommen. Insgesamt wurden in der Schweiz rund 500 Mio. CHF in die künstliche Beschneigung investiert. Die künstliche Beschneigung kann zwar die Schneesicherheit erhöhen, stösst aber an Grenzen: Mit zunehmender Temperatur wird die Schneeproduktion teurer, auch sind die damit verbundenen externen Effekte (durch Energieverbrauch, Wasserkonsum und Landschafts- und Vegetationsbeeinträchtigungen) erheblich.

¹³ Neben diesen „technischen“ Anpassungsmassnahmen wurden noch weitere Massnahmen (Angebotsveränderungen im Wintertourismus, saisonale Diversifikation, usw.) untersucht, die hier nicht vorgestellt werden.

FIF, Klimaänderung und Tourismus¹⁴

Für das Berner Oberland wurde mit Hilfe eines Minimal- und Maximalszenarios der Temperaturerhöhung für das Jahr 2030 die Auswirkungen auf den Tourismus untersucht:

- Minimalszenario: Temperaturanstieg bis 2030 um +0.4°C (gegenüber 1990), was einem Schneegrenzanstieg von 50 bis 60 m entspricht.
- Maximalszenario: Temperaturanstieg bis 2030 um +1.8°C (gegenüber 1990), was einem Schneegrenzanstieg von 250 bis 270 m entspricht.

Die FIF-Studie untersucht mehr Skigebiete als die OECD/Abegg-Studie: Als Skigebiete gelten alle Gebiete mit mindestens zwei skitouristisch genutzten Anlagen und jeweils mehr als 100m Höhendifferenz. Einzelanlagen werden nicht berücksichtigt. Schneesicher sind Gebiete, wenn die 100-Tage-Regel (vgl. OECD/Abegg-Studie) eingehalten wird. Von insgesamt 36 heute schneesicheren Skigebieten sind bei einem minimalen Temperaturanstieg von +0.4°C noch 35 schneesicher, bei einem maximalen Temperaturanstieg von +1.8°C bis 2030 gelten noch 22 Skigebiete als schneesicher (vgl. Tabelle 6-5). Im Maximalszenario kommt die FIF-Studie für das Berner Oberland somit zu ähnlichen Resultaten wie die OECD/Abegg-Studie bei einer Erwärmung von +2°C, nämlich einem Rückgang der Anzahl schneesicheren Skigebiete um knapp 40% gegenüber heute.

Tabelle 6-5: Schneesichere Gebiete im Berner Oberland

	Heute [Anzahl Skigebiete]	+0.4°C (1200 m.ü.M., Minimalszenario) [Anzahl [Abnahme i.Vgl. Skigebiete] zu heute]	+1.8°C (1500 m.ü.M., Maximalszenario) [Anzahl [Abnahme Skigebiete] i.Vgl. zu
Berner Oberland	36	35 -3%	22 -39%

Quelle: FIF (2007), Klimaänderung und Tourismus.

Die aus der FIF-Studie wichtigsten Effekte der Klimaänderung auf den Tourismus im Berner Oberland sind:

- Verschiebung der Schneesicherheitsgrenze nach oben (weniger schneesichere Skigebiete).
- Wegfallende Winteratmosphäre mangels Schnee im Mittelland, was zu Nachfrageeinbrüchen führen könnte.
- Neue Chancen für den Sommertourismus (Revival der Sommerfrische).

¹⁴ FIF - Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus (Hrsg.) (2007), Klimaänderung und Tourismus, Szenarienanalyse für das Berner Oberland 2030, Bern.

Die FIF-Studie zeigt die auf die verschiedenen Akteure zukommenden Herausforderungen und Effekte:

- **Bergbahnen und Skischulen:** Höhere Schneegrenze (siehe oben); fehlende Winteratmosphäre (fehlender Schnee im Mittelland), welche als grösste Herausforderung bezeichnet wird und zu Nachfrageeinbrüche führen kann, da keine Winterstimmung aufkommt; knappes Wasser für die Beschneigung; weniger Betriebstage; neue Standorte für Skischulen; Herausforderungen durch Naturgefahren; Gletscherschwund; mehr Frequenzen wegen wärmeren Sommer (Revival der Sommerfrische).
- **Beherbergung, Hotellerie:** Veränderte Immobilienpreise (Druck auf schneesichere Gebiete wird steigen); höhere Prämien und Kredite (wegen erhöhten Risiken); saisonale Verlagerungen (mehr Sommer-, weniger Wintergäste).
- **Bergführer/Outdoor-Veranstalter:** steigendes Risiko und Investitionen in die Sicherheit (mit häufigeren Wetterextremen), leicht abnehmende Tendenzen bei Winter-Bergtouren, neue Möglichkeiten und Chancen im Sommertourismus.

Die FIF-Studie versucht auch die ökonomischen Effekte der Klimaänderung auf den Tourismus im Berner Oberland abzuschätzen. Diese Einschätzungen wurden in einem Workshop mit Experten und Praktikern aus Tourismus und Gemeindewesen vorgenommen. Die Tabelle 6-6 zeigt die in der FIF-Studie nicht näher erläuterten Schätzungen für das Maximalszenario.

Tabelle 6-6: Ökonomische Effekte bei einer Erwärmung von +1.8°C auf den Tourismus im Berner Oberland

Ohne Anpassungsmassnahmen										
2006				2030						
Frequenzen	Ausgaben	Erträge		Frequenzen	Ausgaben/Tag			Erträge		
[Mio.]	[CHF/Tag]	[Mio. CHF]		[Mio.]	[Δ in %]	[CHF/Tag]	[Δ in %]	[Mio. CHF]	[Δ in %]	[Δ Mio. CHF]
Winter Tagestouristen	3.4	57	194	2.2	-35%	51	-10%	112	-42%	-82
Winter Übernachtungstouristen	4.1	118	484	3.1	-25%	118	0%	366	-24%	-118
Total Winter			678					478	-29%	-200
Sommer Tagestouristen	7.7	58	447	8.5	10%	58	0%	493	10%	46
Sommer Übernachtungstouristen	6.2	107	663	6.5	5%	107	0%	696	5%	33
Total Sommer			1'110					1'189	7%	79
Total Winter und Sommer			1'788					1'667	-7%	-121

Mit Anpassungsmassnahmen										
Winter Tagestouristen	3.4	57	194	2.6	-25%	54	-10%	140	-28%	-54
Winter Übernachtungstouristen	4.1	118	484	3.3	-20%	118	0%	389	-20%	-95
Total Winter			678					529	-22%	-149
Sommer Tagestouristen	7.7	58	447	8.5	10%	58	0%	493	10%	46
Sommer Übernachtungstouristen	6.2	107	663	6.5	5%	107	0%	696	5%	33
Total Sommer			1'110					1'189	7%	79
Total Winter und Sommer			1'788					1'718	-4%	-70

Ohne Anpassungsmassnahmen wird im Wintertourismus ein Rückgang von 29% oder -200 Mio. CHF geschätzt. Der Sommertourismus kann 7% oder 79 Mio. CHF zulegen. Auf das ganze Jahr berechnet, entsteht ein Verlust von 7% oder -121 Mio. CHF. Durch Anpassungsmassnahmen kann der Verlust um rund 50 Mio. CHF auf -70 Mio. CHF vermindert werden.

c) Schadenskosten für die Schweiz

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, wie die Schadenskosten der Klimaänderung im Schweizer Tourismus abgeschätzt werden. Dabei beschränken wir uns auf den alpinen Winter- und Sommertourismus. Die Diskussion der Angebots- und Nachfrageveränderung führt uns dann zur Methodik der Schätzung der Schadenskosten: Mit Hilfe eines statischen Mehrländergleichgewichtsmodells wird erstmals für die Schweiz dargelegt, wie hoch die Verluste und Gewinne der Klimaänderung für den Schweizer alpinen Tourismus ist.¹⁵

Beschränkung auf alpinen Tourismus

Wie die beiden oben dargestellten aktuellen Studien zeigen, ist unbestritten, dass die Klimaänderung einen grossen Einfluss auf den Tourismus insbesondere in den Alpenregionen hat. Bei der Berechnung der Schadenskosten im Tourismus beschränken wir uns auf den alpinen Tourismus¹⁶. Dies bedeutet nicht, dass der Klimawandel im Städtetourismus und im ländlichen Tourismus keine Auswirkungen hat. Gemäss OcCC-Bericht¹⁷ sind die Auswirkungen bzgl. der touristischen Nachfrage und dem Angebot aber weniger einschneidend. Es wird unterstellt, dass sich für den ländlichen Tourismus und den Städtetourismus Vor- und Nachteil bzgl. Kosten und Nutzen der Klimaänderung die Waage halten: Bspw. schlechtere Luftqualität in den Städten aufgrund hoher Ozon- oder Feinstaubkonzentrationen¹⁸ vs. Belegung des öffentlichen Raums (Mediterranisierung), was die Städte wieder attraktiver macht. Weiter wird evtl. der Sommer vermehrt zu Hause verbracht. Auch dürfte mit steigenden Temperaturen der Sommer in der Schweiz auch für ausländische Touristen attraktiver werden.

¹⁵ Die folgenden Ausführungen basieren auf einem Expertengespräch, das wir mit H.R. Müller (FIF - Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus) und Bruno Abegg (GIUZ - Geographisches Institut Universität Zürich) geführt haben. Die Bewertung, Gewichtung und Strukturierung liegt in der Verantwortung der Arbeitsgemeinschaft Eco-plan/Sigmaplan.

¹⁶ Inkl. schneegebundenen ländlichen Tourismus (bspw. touristische Regionen in den Voralpen und im Jura).

¹⁷ OcCC (2007), Auswirkungen der Klimaänderung auf den Tourismus.

¹⁸ Inwieweit bodennahes Ozon und Feinstaub im Jahr 2050 überhaupt noch eine gesundheitlich zentrale Rolle spielt und nicht mit entsprechenden Massnahmen auf ein gesundheitlich unbedenkliches Mass reduziert wird, muss offen bleiben.

Angebotsveränderungen im alpinen Wintertourismus

Die vorgängig diskutierte OECD/Abegg-Studie zeigt für den gesamten Alpenbogen sehr deutlich auf, mit welcher einschneidenden Veränderungen im touristischen Winterangebot bei steigenden Temperaturen für den gesamten Alpenbogen zu rechnen ist. Für die vorliegende Schadenskostenabschätzung treffen wir folgende die OECD/Abegg- und FIF-Studie konkretisierenden Annahmen:

- **Sinkendes Angebot schneesicherer Skigebiete**

Wir gehen davon aus, dass sich längerfristig nur schneesichere Skigebiete im Markt behaupten können. Als Indikator, wie stark das touristische Angebot reduziert wird, dient uns der Rückgang der schneesicheren Skigebiete gemäss OECD/Abegg-Studie (vgl. Tabelle 6-4). Wir unterstellen also, dass die Beschneigung in Skigebieten in tieferen Lagen kein langfristig gangbarer Weg ist.¹⁹

Zu beachten ist, dass bspw. ein Rückgang von 21% der Skigebiete bei einer Erwärmung von +2°C nicht bedeutet, dass der Umsatz entsprechend zurückgeht. In der Regel sind die tiefer liegenden Skigebiete in der Schweiz viel umsatzschwächer als die höher liegenden Gebiete.

- **Verbesserte Wettbewerbsposition der Schweiz**

Obwohl die Zahl schneesicherer Orte in der Schweiz mit steigenden Temperaturen abnimmt, kann die Schweiz aufgrund ihrer relativ hoch gelegenen Skigebiete ihre Wettbewerbsposition im schneeabhängigen Wintertourismus im Vergleich zu den Nachbarländern verbessern. Liegen heute 25% der schneesicheren Gebiete in der Schweiz, so sind es bei +2 °C bereits 32%, bei +4°C gar 39%. Dies entspricht einer sehr massiven Verschiebung der Ausstattung mit schneesicheren Skigebieten zugunsten der Schweiz. Offen bleibt, wie gut die einzelnen Länder mit ihrem Angebot in höhere Lagen ausweichen können.

Die Wettbewerbsposition der Schweiz im alpinen Wintertourismus hängt selbstverständlich nicht alleine von der Klimaänderung ab. Andere Einflussfaktoren (generell konkurrenzfähige touristische Infrastruktur, Preisgefüge, Wechselkurs, Gastfreundschaft, usw.) sind hier bedeutsamer. In dieser Studie wird einzig die klimabedingte Veränderung der Wettbewerbsposition thematisiert. Damit diese klimabedingte verbesserte Wettbewerbsposition auch genutzt werden kann, dürfen sich die anderen wettbewerbsbestimmenden Einflussfaktoren im Vergleich zu den Konkurrenzländern zumindest nicht verschlechtern.

- **Attraktivität höher gelegener Skigebiete durch Investitionen gesichert**

Für die höheren Skigebiete wird angenommen, dass ihre Attraktivität als Wintersportort mit der Klimaerwärmung nicht sinkt. Dies bedingt allerdings zusätzliche Investitionen, wie

¹⁹ Grundsätzlich könnte das Angebot mittels vermehrter Beschneigung auch in tieferen Lagen bereitgestellt werden – vorausgesetzt, das für die Beschneigung notwendige Wasser ist verfügbar. Für ein solches Angebot (kunstbeschneite „Schneebänder“ in grüner Landschaft) dürfte allerdings die Nachfrage fehlen. Aus diesen Überlegungen gehen wir davon aus, dass dieses – zwar technisch mögliche – Angebot längerfristig nicht aufrechterhalten wird.

bspw. noch weitergehende Beschneigungen bzw. länger dauernde Beschneigung, um die Wintersaison „künstlich“ zu verlängern, Sicherung der stärker gefährdeten Verkehrswege.

- **Wintersport wird teurer**

Die «Produktionskosten» werden steigen: Vermehrte Investitionen zur Sicherung der Bahnanlagen gegen die erhöhte Naturgefahren, abschmelzendem Permafrost, usw., Konzentrationsprozess mit höheren Boden- und Immobilienpreisen, erhöhter Einsatz und Ausbau in Beschneiungsanlagen.

- **Ausweichen auf höhere Lagen beschränkt**

Die Klimaänderung wird den Druck auf noch unvollständig oder gar nicht erschlossene alpine Gebiete erhöhen. Wir gehen davon aus, dass dieses Potenzial bereits ohne unterstellte Klimaänderung ausgeschöpft wird und dann an natürliche oder landschaftsschützende Grenzen stösst. Auch dürfte die Klimaänderung selber die hochalpinen Regionen vermehrt Naturgefahren aussetzen, so dass ein vermehrtes Ausweichen auch darum problematisch ist.

- **Weitere nicht berücksichtigte Angebotsveränderungen**

Die Veränderung der Schneesicherheit ist nur einer - wenn auch der wesentlichste - Einflussfaktor der Klimaänderung auf den Wintertourismus. Veränderung der Permafrostausdehnung (führt bspw. zu vermehrten Murgängen, vgl. Kapitel 6.4), Landschaft (Gletscherschwund, Veränderungen in der Vegetation), Naturgefahrenexponierung und im Wasserhaushalt werden ebenfalls – hier nicht erfasste – Veränderungen im alpinen Wintertourismus bringen. Weiter wird die Klimaänderung auf dazu führen, dass Alternativen zum alpinen Wintertourismus gesucht (und vermutlich auch gefunden) werden (bspw. alpine Wellness, usw.)²⁰

Nachfrageveränderungen im alpinen Wintertourismus

Auch ohne Klimawandel befindet sich der Wintertourismus in einem sich änderenden Umfeld. Stichworte dazu sind: Demografische Alterung, fehlender Bezug der Jugendlichen zum Schneesport, vermehrte Migration (Interesse eher für Fussball als für Schneesport), Exklusivität bzw. Luxuscharakter des Schneesports könnte zunehmen. Weltweit gesehen, wird der Skisport populärer, dies auch als Folge der generell steigenden Einkommen. Der Reiz des Schneesports dürfte auch längerfristig gegeben sein, so dass ein entsprechendes Angebot auch in Zukunft eine Nachfrage finden wird. Die Nachfrageveränderung wird im Tages- und Ferientourismus unterschiedlich sein.²¹

²⁰ Einen guten und umfassenden Überblick geben FIF (2007) und OECD/Abegg (2007).

²¹ In der FIF-Studie beträgt der Anteil des Tagestourismus am Gesamtertrag im Wintertourismus 29% für das Berner Oberland (vgl. Seite 56).

- **Wegfallende Winteratmosphäre im Schweizer Mittelland**

Als grösste Herausforderung für den alpinen Wintertourismus wird in der FIF-Studie, die sich auf eine Experten- und Praktikereinschätzungen beruft, die wegfallende Winteratmosphäre im Mittelland bezeichnet. Es kommt gemäss FIF-Studie keine Winterstimmung auf, was zu einem massiven Nachfragerückgang führen könnte.²² Es wird also unterstellt, dass ohne „Winterstimmung“ in der unmittelbaren Wohnumgebung, die Nachfrage nach Wintersportaktivitäten zurückgeht. Dies auch unter dem Eindruck, dass die jüngere Generation nicht mehr mit der vor der Haustür möglichen „Wintersportaktivität“ aufwächst. Dem kann man aber entgegenhalten, dass wenn die Winterreize im unmittelbaren Umfeld fehlen, diese gezielt über Ferien in hochalpinen Lagen nachgeholt werden („Winter- bzw. Alpenexotik“). Die fehlende Winteratmosphäre wird sich vermutlich sehr viel stärker auf den Tages- und weniger stark auf den Ferientourismus auswirken.

- **Budget für Freizeitaktivitäten von Klimaänderung nicht beeinträchtigt**

Wir gehen – gestützt auf Experteneinschätzungen – davon aus, dass sich das gesamte Budget für Freizeitaktivitäten durch die Klimaänderung nicht verändern wird. Das heisst, das für die Wintersportaktivitäten nicht mehr ausgegebene Geld wird für andere Freizeitaktivitäten verwendet.

- **Statt Wintersportferien mehr Fernreisen**

Die Frage der Substitute der Wintersportaktivitäten ist schwierig zu beantworten, da sich die Präferenzen der Haushalte in den nächsten 50 Jahren sicherlich noch stark ändern werden. Bei der Analyse der Auswirkungen auf die Schweizer Volkswirtschaft spielt es eine zentrale Rolle, ob die dem Schweizer Wintersport entzogene Nachfrage für Freizeitaktivitäten in der Schweiz oder im Ausland ausgegeben wird. Aus einer schweizzentrierten volkswirtschaftlichen Sicht wäre ein Ausweichen auf Freizeitaktivitäten bzw. Ferien im Ausland negativer zu beurteilen als wenn das Geld weiterhin für Angebote in der Schweiz ausgegeben würde.

Ferientourismus: Zwei Gründe sprechen dafür, dass als Substitut für Winterferien Fernreisen im Vordergrund steht: (1) Die zunehmenden Niederschläge im Winter dürften zu einer Erhöhung der Nachfrage nach „Winterescapes“ fördern, (2) Winterferien sind relativ teuer, im selben Preissegment rangieren auch Fernreisen. Weiter dürfte vor allem im Tagestourismus eine gewisse Verlagerung der Nachfrage auf den Sommer stattfinden. Nicht auszuschliessen ist auch, dass sich die Winterferien weg von den schneeabhängigen Aktivitäten zu anderen Freizeitaktivitäten verlagert (bspw. Wellness).

Tagestourismus: Als Substitute kommen hier in erster Linie Freizeitaktivitäten in der Schweiz oder Kurzaufenthalte im nahegelegenen Ausland in Frage.

²² Gemäss FIF-Studie nimmt das Angebot an schneesicheren Skigebieten bei einer Erwärmung von +1.8°C im Berner Oberland um 39% ab. Da vor allem umsatzschwache tiefer liegende Skigebiete wegfallen, dürfte der Umsatzverlust deutlich 10% liegen (vgl. auch folgende Ausführungen zur TTA-Statistik). Insgesamt wird aber mit einem Umsatz- bzw. Ertragsrückgang von 24% gerechnet. Dies bedeutet, dass der grösste Teil des mit 200 Mio. CHF bezifferten Verlusts auf nachfrageseitige Effekte zurückzuführen ist.

- **Zweitwohnungen als Stabilisatoren der Nachfrage in der Schweiz**

Die Schweiz weist eine im Ländervergleich hohen Anteil an Zweitwohnungen (i.Vgl. zu den Hotelleriebetten) aus. Die Nachfrage der Zweitwohnungsbenutzer wird nicht so stark auf ein verändertes Umfeld reagieren wie die Hotelgäste. Der Tagestourismus kann von diesem Stabilisator allerdings nicht profitieren.

- **Steigende Nachfrage aus dem Ausland**

Durch den relativ stärkeren Rückgang des Angebots in den angrenzenden Alpenländern dürfte sich die Nachfrage aus dem Ausland (relativ zur Nachfrage in den anderen Ländern) verstärken. Diese verstärkte Nachfrage wird sich aber vor allem auf den Ferientourismus beschränken, der Tagestourismus ist davon kaum betroffen.

Insgesamt wird sich vermutlich eine Verschiebung im alpinen Wintertourismus zugunsten des Ferientourismus ergeben. Dies einerseits aufgrund der Nachfrageveränderungen, aber auch aufgrund von Angebotsveränderungen, da vor allem die klassischen – tiefer gelegenen, stärker auf Tagestouristen ausgerichtete Destinationen – von der Klimaänderung betroffen sind.

Angebots- und Nachfrageveränderungen im Sommertourismus

Wie schon erwähnt, dürfte die Alpenregion im Sommer von der Klimaänderung profitieren (Revival der Sommerfrische). Die Änderungen sind hier vor allem nachfragegetrieben. Wir unterstellen, dass sich das Angebot dementsprechend anpassen kann.

Methodik zur Abschätzung der Schadenskosten im Tourismus

Im Rahmen der NFP31- und FIF-Studie wurden Abschätzungen zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf den Tourismus gemacht. In der NFP31-Studie bleibt die relative Verbesserung der Wettbewerbssituation der Schweiz unberücksichtigt. Beide Studien verzichten auf die Berücksichtigung der Veränderungen in der Produzenten- und Konsumentenrente. Bestimmend für die volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist auch die Frage, wohin das im Wintertourismus nicht mehr ausgegebene Geld fließt. Auch dieser Punkt wird bei beiden Studien nicht berücksichtigt.

Wie oben ausgeführt wird die Klimaänderung beim Tourismus sowohl zu relativ massiven Angebots- wie auch nachfrageseitige Änderungen führen. Eine simultane Betrachtung von Angebot und Nachfrage unter der Berücksichtigung der speziellen Wettbewerbsposition der Schweiz wäre somit wünschenswert. Will man die oben dargestellten Effekte simultan erfassen, so drängt sich die Verwendung eines Gleichgewichtsmodells auf. Nachfolgend wird das zur Anwendung kommende Modell, das speziell für die hier interessierende Fragestellung angepasst wurde, vorgestellt:

- **Statisches Gleichgewichtsmodell – basierend auf SWISSGEM**

Gleichgewichtsmodelle basieren auf mikroökonomisch fundierten Verhaltensannahmen und sind in hohem Masse dazu geeignet, die Allokationseffekte veränderter Rahmenbedingungen (bspw. weniger „Ausstattung mit Schnee“) für die Gesamtwirtschaft aufzuzei-

gen. Hierzu zählen die Auswirkungen auf sektorale Produktionsstrukturen, Konsum und Investitionen, Aussenhandel oder Beschäftigung. Ein geschlossener, totalanalytischer Ansatz gewährleistet methodische Konsistenz bei der Berücksichtigung von Wechselwirkungen auf nationalen und internationalen Märkten. Die Differenzierung nach Regionen und Industriesektoren sowie verschiedenen Haushaltstypen erlaubt eine disaggregierte Untersuchung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Politikmassnahmen.

Das hier zur Anwendung kommende Gleichgewichtsmodell SWISSGEM wurde für den Perspektivstab der Bundesverwaltung entwickelt. Für eine erste Abschätzung beschränken wir uns auf eine statische Version, obwohl ein dynamisches Modell hier zielführender wäre.

- **Drei Regionen: Schweiz, A/D/F/I und Rest der Welt (ROW)**

Damit wir die verbesserte Wettbewerbsposition der Schweiz adäquat erfassen können, muss ein Mehrländermodell zum Einsatz kommen. Wir bilden drei Regionen: Die Schweiz, die restlichen Alpenländer, bestehend aus Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien sowie der Rest der Welt. Alle drei Regionen sind unterschiedlich ausgestattet mit schneesicheren Skigebieten und sind unterschiedlich betroffen von der Klimaänderung (siehe OECD/Abegg-Studie).

- **Desaggregierter Tourismussektor**

Der Tourismussektor muss detaillierter betrachtet werden. Insbesondere gilt es, den schneeabhängigen Wintertourismus als separaten Wirtschaftssektor zu führen. Erste Abschätzungen gehen davon aus, dass von insgesamt 23 Mrd. CHF²³ ungefähr 45% im Winter²⁴ anfallen und davon 40% schneeabhängiger Tourismus²⁵ ist. Die Wertschöpfung für den schneeabhängigen Tourismus in der Schweiz beläuft sich somit auf rund 18% der gesamten Tourismuswertschöpfung oder rund 4.2 Mrd. CHF.

Modellparametrisierung und Annahmen - Angebotsseite

In allen Sektoren (es werden 12 Sektoren unterschieden) gehen wir von sogenannten geschachtelten Kostenfunktionen aus, die aus Arbeit, Kapital und Vorleistungen aus anderen Sektoren den sektorspezifischen Output produzieren. Im Tourismussektor gelten folgende Spezialitäten:

²³ Die touristischen Gesamteinnahmen betrugen 2004 22.8 Mrd. CHF (=5.1% des BIPs), vgl. Schweizer Tourismus-Verband (2006). Schweizer Tourismus in Zahlen, Ausgabe 2006, S. 6.

²⁴ Von den insgesamt 32.9 Millionen Logiernächten fallen 15.2 Mio. oder rund 46% auf den Winter, vgl. Schweizer Tourismus-Verband (2006). Schweizer Tourismus in Zahlen, Ausgabe 2006, S. 18.

²⁵ Genaue Zahlen für den Anteil schneeabhängiger Tourismus für die Gesamtschweiz liegen nicht vor. Aus einer älteren Studie von Müller et al. (1995) erhalten wir gewisse Anhaltspunkte: Betrachtet man die Regionen Berner Mittelland, Stadt Bern und Berner Oberland, so beträgt der Anteil des Wintertourismus im Berner Oberland am gesamten Wintertourismus dieser drei betrachteten Regionen gut 50%. Gehen wir davon aus, dass nicht aller Wintertourismus im Berner Oberland schneeabhängig ist und für die ganze Schweiz der schneeabhängige Anteil leicht tiefer liegt, können wir einen Anteil von 40% für die Gesamtschweiz unterstellen (grobe Schätzung).

- **Ressource „Schnee“:** Neben den Faktoren Arbeit und Kapital braucht es zur Produktion der Wintersportaktivitäten eine weitere Ressource „Schnee“.²⁶
- **Klimaerwärmung reduziert Ausstattung mit Ressource „Schnee“:** Diese Ressource „Schnee“ nimmt mit der Klimaerwärmung ab. Die Ressourcenausstattung wird also verändert bzw. reduziert. Die Produktionsmöglichkeiten und das Angebot der Schweiz und er angrenzenden Alpenländer werden reduziert, was ceteris paribus zu negativen volkswirtschaftlichen Effekten führen muss.
- **Indikator für die Abnahme der Ausstattung mit der Ressource „Schnee“:** Gemäss der OECD/Abegg-Studie wäre bei einer Erwärmung von +2°C bzw. +4°C ein Rückgang der schneesicheren Skigebiete um 21% bzw. 52% zu gewärtigen. Wie schon erwähnt, ist allerdings das touristische Potenzial der Skigebiete zwischen 1200 und 1500 m.ü.M. kleiner als das der höher gelegenen Gebiete. Ein Angebotsrückgang um 21% bzw. 52% wäre somit eine starke Überschätzung der tatsächlichen Auswirkungen.

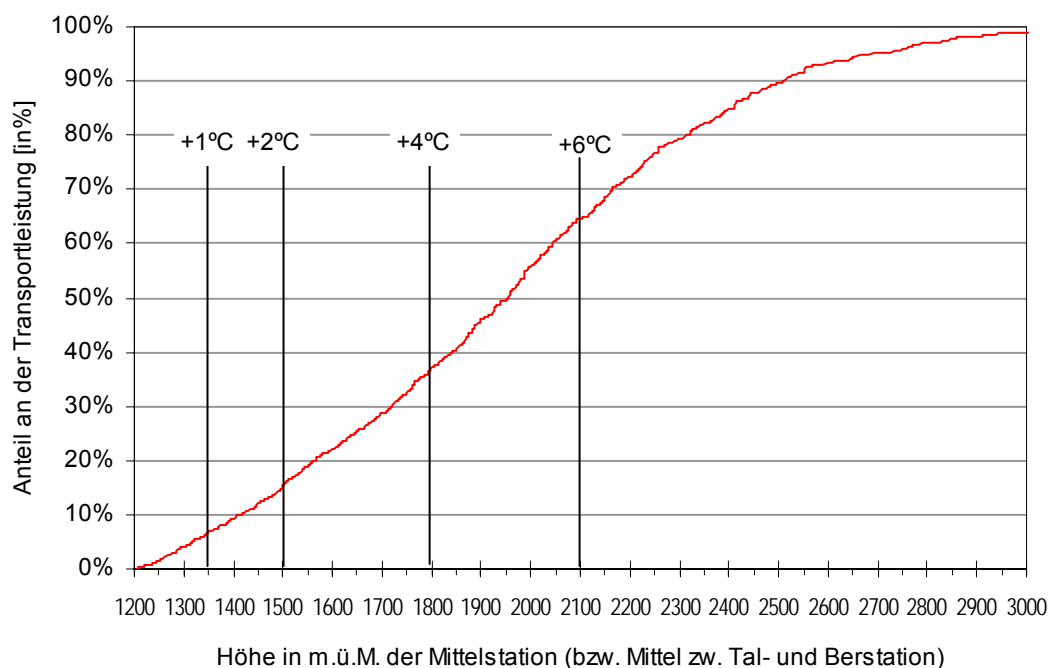
Betrachten wir die Transportleistungen der touristischen Transportinfrastruktur zwischen 1200 und 1500 (entspricht Erwärmung von +2°C) bzw. zwischen 1200 und 1800 m.ü.M. (entspricht Erwärmung von +4°C), so entspricht dies 15% bzw. 37% (vgl. Grafik 6-2). Der Verlust an reiner Transportleistung in schneesicheren Skigebieten wäre also geringer als der Verlust der Anzahl Skigebiete.

Die tiefer gelegene touristische Transportinfrastruktur ist weniger ausgelastet als die höher gelegene Infrastruktur - zurückzuführen auf die Attraktivität der Bahnen und der Skigebiete. Wir gehen davon aus, dass die tiefer gelegenen Bahnen im Vergleich zu höher gelegenen Bahnen nur ca. 50% des spezifischen Umsatzes pro Transportleistung generiert. Mit steigender Höhenlage der Bahnen nimmt dieser „Umsatzkorrekturfaktor“ zu, bis er für Bahnen ab 1800 m.ü.M. 100% erreicht. Betrachten wir nun den Umsatz der touristischen Transportinfrastruktur zwischen 1200 und 1500 bzw. zwischen 1200 und 1800 m.ü.M., so entspricht dies 10% bzw. 32% (vgl. Grafik 6-3).

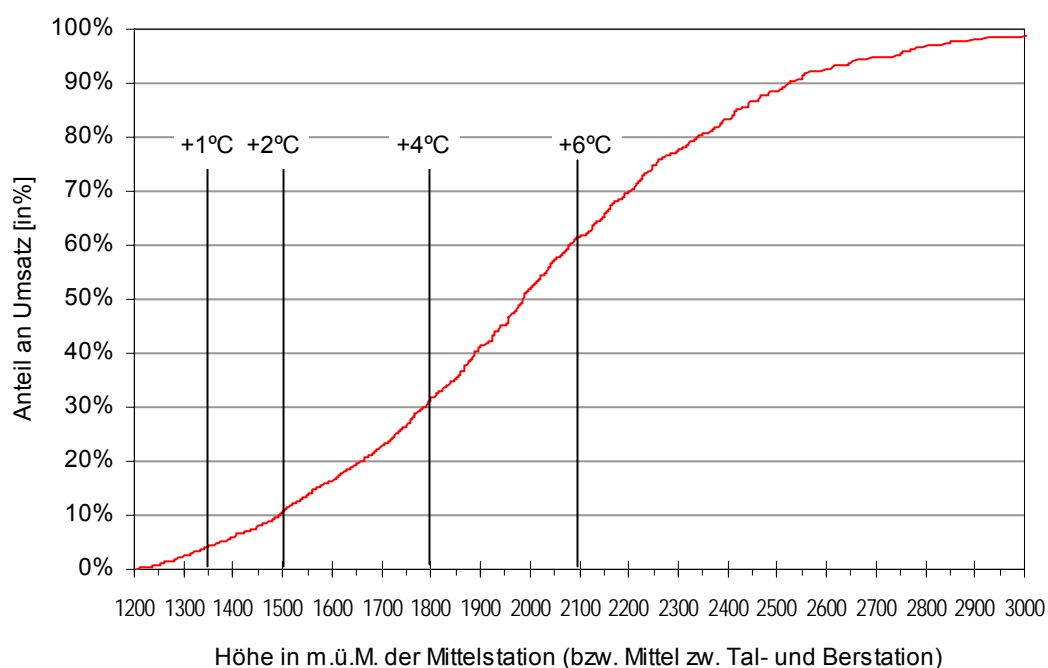
Als Indikator wählen wir den Verlust an Umsatz, obwohl wir annehmen müssen, dass der tatsächliche Verlust noch kleiner ist, da die tiefer liegenden Bahnen auch weniger nachgelagerte Nachfrage (nach Übernachtungen, usw.) generieren als die höher gelegenen Bahnen.

²⁶ Modelltechnisch wird dies mit einem speziellen Kapitalinput abgebildet.

Grafik 6-2: Transportleistung der touristischen Bahnen in Abhängigkeit ihrer Höhenlage (nur Bahnen mit einer mittleren Höhe ab 1200 m.ü.M. berücksichtigt)²⁷



Grafik 6-3: Umsatz der touristischen Bahnen in Abhängigkeit ihrer Höhenlage (nur Bahnen mit einer mittleren Höhe ab 1200 m.ü.M. berücksichtigt)



²⁷ Quelle: TTA-Statistik (2001) des UVEK (früher Bundesamt für Raumplanung). Insgesamt wurden gut 1300 Transportanlagen ausgewertet.

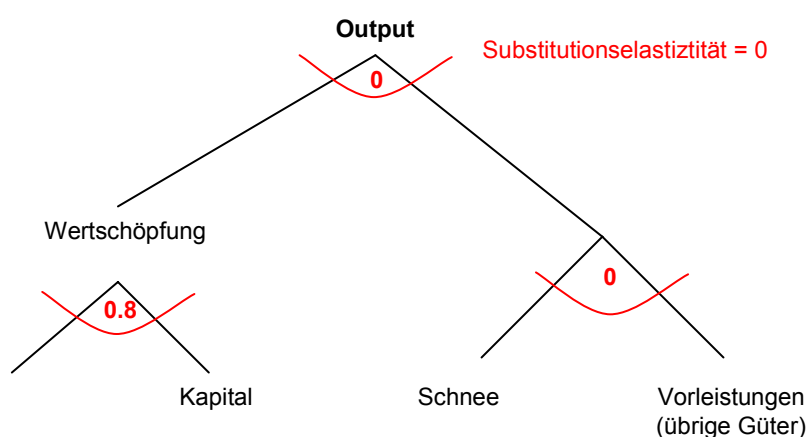
Eine erste Überschlagsrechnung zeigt, dass allein der Angebotsrückgang nicht so bedeutend ausfällt, wie in der NFP31-Studie angenommen: Rechnen wir mit einem schneeabhängigen Umsatz von 4.1 Mrd. CHF, so würden wir bei einer Erwärmung um $+2^{\circ}\text{C}$ einen Angebotsrückgang von 10% oder 410 Mio. CHF berechnen.

Auf der Produktionsseite werden wir folgende Tourismussektoren unterscheiden, deren Aufteilung auf groben Abschätzungen beruhen muss:

- Schneeabhängiger Wintertourismus
- Fernreisen
- Sommertourismus und restliche Freizeitaktivitäten

Um die vorgängig dargelegten Effekte modellmässig zu erfassen, wird folgende Produktionsfunktion für den schneeabhängigen Wintertourismus gewählt:

Grafik 6-4: Genestete Produktionsfunktion für den schneeabhängigen Wintertourismus



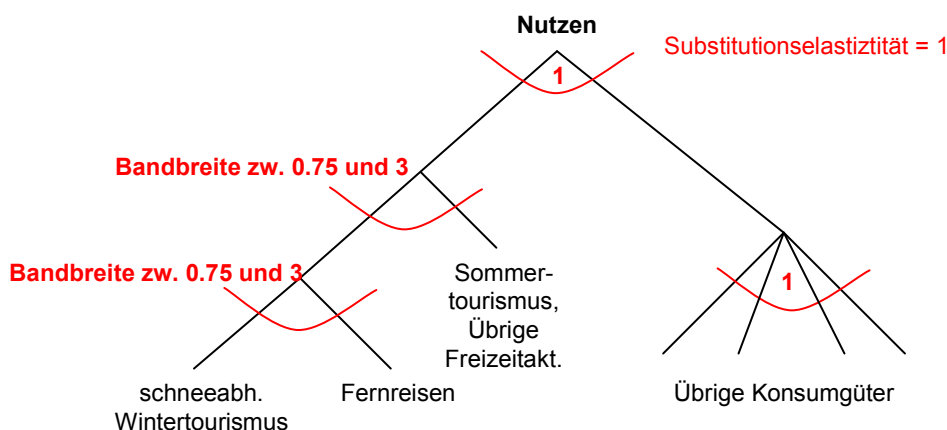
Modellparametrisierung und Annahmen - Nachfrageseite

Die Nachfrageseite wird mit einer geschachtelten Nutzenfunktion modelliert. Wichtig ist dabei die Annahme über die Substitute zu den Winteraktivitäten. Hier gehen wir wie folgt vor:

- Auf einer ersten Stufe wird Wintertourismus mit Fernreisen substituiert.
- Das Aggregat aus Wintertourismus und Fernreisen ist mit dem übrigen (v.a. Sommertourismus) substituierbar.

Die grossen Unbekannten sind natürlich, wie leicht substituiert wird. Diese Elastizitätsannahmen sind äusserst unsicher und sollen im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation mit grösseren Bandbreiten einfließen (vgl. dazu auch nachfolgende Grafik).

Grafik 6-5: Genestete Nutzenfunktion



Modellparametrisierung und Annahmen – Internationale Konkurrenz im Wintersport

Wir gehen davon aus, dass die Alpenregionen – zumindest sehr langfristig - mit ihrem touristischen Angebot in direkter Konkurrenz zueinander stehen. Das heisst, preisliche Veränderungen aufgrund des Rückgangs der Ressource Schnee oder von anderen Verteuerungen in der Produktion wirken sich direkt auf das Konkurrenzverhältnis aus.

Exkurs: Herleitung und Annahmen zur Modellparametrisierung

Nachfolgend zeigen wir die Herleitung und die Annahmen für die Modellparametrisierung. Der Mehrländerdatensatz beruht auf der GTAP-Version 6.0 (Jahr 2001). Insgesamt wurden 12 Sektoren unterschieden. Die Vorleistungen der Sektoren „schneeabhängiger Wintertourismus“, „Fernreisen“ und „Sommer-tourismus und übrige Freizeitaktivitäten“ wurden anhand der Studie von Rütter, Guhl, Müller (1995) den GTAP-Sektoren zugewiesen.

Nachfolgend interessieren vor allem die Annahmen zum Sektor Tourismus und hier speziell der Sektor „schneeabhängiger Wintertourismus“, die teilweise nur sehr grob abgeschätzt werden konnten:

- Die Tabelle 6-7 zeigt die Desaggregation der touristischen Nachfrage für die Schweiz im Jahr 2001 (dem Benchmarkjahr für den Datensatz, der im Gleichgewichtsmodell verwendet wurde).
- Die Tabelle 6-8 zeigt die Aufteilung der Schweizer Nachfrage nach Fernreisen.
- Die Tabelle 6-9 stellt die Annahmen zur Entwicklung der schneesicheren Skigebiete (gemäss OECD/Abegg (2007)) dar. Daraus abgeleitet zeigt die Tabelle die Entwicklung der umsatzgewichteten Skigebiete in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung dar. Dabei mussten zusätzliche Annahmen für Temperaturerhöhungen von +3°C, +5°C und +6°C getroffen werden. Es handelt sich dabei um sehr grobe Annahmen, die noch näher zu prüfen wären.

Tabelle 6-7: Desaggregation der touristischen Nachfrage für die Schweiz 2001

	Sommer 55%	Winter nicht schnee- abhängig 27%	schnee- abhängig 18%	Total 2001	
				Mrd. CHF	BIP%
Touristische Gesamteinnahmen Schweiz:	12.3	6.0	4.0	22.40 1)	5.4%
- von Gästen aus dem Inland	5.3	2.6	1.7	9.70 1)	2.3%
- von Gästen aus dem Ausland	7.0	3.4	2.3	12.70 1)	3.1%
Ausgaben von Schweizer Touristen im Ausland				10.50	
- für schneeabhängigen Wintertourismus in A/D/F/I				0.14 2)	
- für Sommer- und nicht schneeabh. Wintertourismus in A/D/F/I				6.28 3)	
- für Fernreisen (Tourismus ausserhalb A/D/F/I)				4.09 3)	

Bemerkung: *kursive Werte sind grobe Schätzungen*

- 1) gemäss STV (2002) und Schätzungen aufgrund der vorgängigen Ausführungen im Bericht
- 2) grobe Abschätzung aufgrund der Übernachtungszahlen von Schweizer Touristen im Winter in Österreich und Hochrechnungen mit der Anzahl Skigebiete für D/I/F
- 3) Aufteilung der Ausgaben in A/D/F/I und ROW gemäss Auswertung des Reiseverhaltens 2003 (vgl. nachfolgende Tabelle)

**Tabelle 6-8: Bestimmung des Anteils Fernreisen der Schweizer (Reisen ausserhalb A/D/F/I)
Quelle: BFS (2005), Reiseverhalten 2003**

Anzahl Reisen in der Stichprobe [in Tausend]				
	Kurze Privatreisen	Lange Privatreisen	Geschäfts-reisen	Total
Total	2'773	6'756	811	10'340
D	869	514	265	1'648
F	898	1'263	114	2'275
I	557	1'608	111	2'275
A	174	408	-	582
A/D/F/I	2'499	3'792	489	6'780
ROW	274	2'965	322	3'560
Durchschnittliche Tagesausgaben pro Person für die Reise				
Ausgabenkategorie	CHF/Reise; weiligen Ausgabenkategorie [in Tausend]			
	20	469	893	-
	40	398	1'304	-
	80	684	1'453	147
	170	547	1'980	69
	250	299	725	188
	400	376	401	156
	750	-	-	167
	1500	-	-	84
	Tausend CHF	Tausend CHF	Tausend CHF	Tausend CHF
Total Stichprobe	397'930	864'576	384'075	1'646'581
	CHF	CHF	CHF	CHF
Durchschnitt/Reise	144	128	474	159
A/D/F/I pro Reise	144	128	474	159
ROW pro Reise	172	154	568	191
Ausgaben nach Länder				
	Tausend CHF	Tausend CHF	Tausend CHF	Tausend CHF
A/D/F/I	358'619	485'227	231'733	1'075'579
ROW	47'173	455'219	182'810	685'202

61%**39%**

Tabelle 6-9: Bestimmung des Produktionspotenzials für schneeabhängigen Wintertourismus in Abhängigkeit von der Temperaturerhöhung

Anzahl schneesichere Skigebiete in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung (Quelle: OECD (2007))							
	+0C	+1C	+2C	+3C	+4C	+5C	+6C
CH	159	142	129		78		
A/D/F/I	450	358	275		124		
CH	100%	89%	81%		49%		
A/D/F/I	100%	80%	61%		28%		
CH	0%	-11%	-19%		-51%		
A/D/F/I	0%	-20%	-39%		-72%		
Umsatzgewichtete schneesichere Skigebiete abhängig von der Temperaturerhöhung (Quelle: eigene Schätzungen)							
CH	100%	96%	89%	81%	68%	55%	38%
A/D/F/I	100%	86%	70%	58%	41%	28%	11%
CH	0%	-4%	-11%	-19%	-32%	-45%	-62%
A/D/F/I	0%	-14%	-30%	-42%	-59%	-72%	-89%
Differenz CH zu A/D/F/I	0%	-10%	-20%	-23%	-27%	-27%	-27%

Unsicherheiten - Monte Carlo Simulation

Die Modellsimulationen werden jeweils für vier verschiedene Zeitpunkte (2030, 2050, 2070 und 2100) durchgeführt. Dabei werden folgende fünf Parameter als unsicher betrachtet und im Rahmen der Monte Carlo Simulation variiert (vgl. Tabelle 6-10):

- **Temperaturerhöhung:** Für die Jahre 2030, 2050 und 2070 wurden die Temperaturerhöhungen in den Monaten Dezember, Januar und Februar mit den Wahrscheinlichkeiten gemäss Frei (2004) vorgegeben. Für das Jahr 2100 wurden die Schweizer Werte anhand der globalen Entwicklung gemäss Wigley-Raper (vgl. dazu Frei (2004)) hochgerechnet.
- **Vier verschiedene Substitutionselastizitäten:** Wie stark zwischen den einzelnen touristischen Gütern substituiert werden kann, ist nicht bekannt. Wir gehen daher von relativ grossen Bandbreiten für die Substitutionselastizitäten aus, wobei in je zwei Fällen eine uniforme Verteilung bzw. eine Normalverteilung unterstellt wird.

Für jedes der vier Jahre werden total 100'000 Simulationen durchgeführt und die Resultate in Form eines Box-Plots oder eines Histogramms dargestellt. Die Grafik 2-4 zeigt, wie Box-Plots zu lesen sind.

Als Resultatgrösse werden die Wohlfahrtseinbussen (also der Verlust an Konsum- und Freizeitmöglichkeiten) ausgewiesen. Damit die Vergleichbarkeit mit den anderen Schadensbereichen gegeben ist, wurden die Wohlfahrtseinbussen in BIP% umgerechnet und in den nachfolgenden Tabellen und Grafiken dargestellt.

Tabelle 6-10: Bandbreiten, Verteilung der unsicheren Parameter für die Monte Carlo Simulation

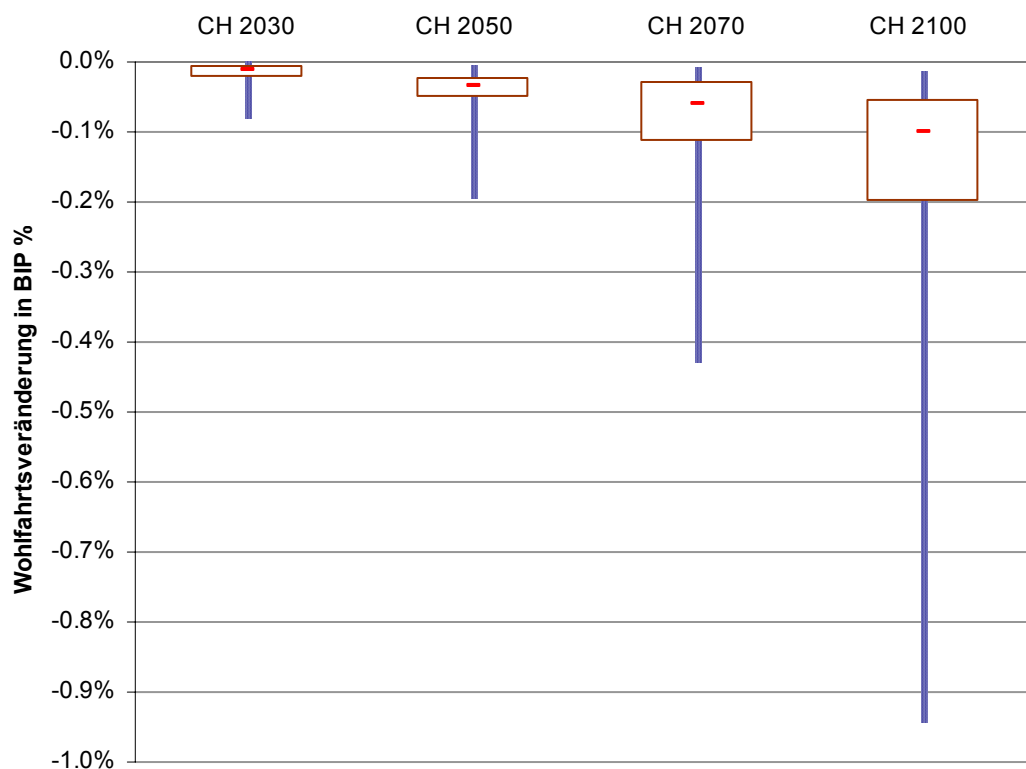
Unsicherheiten				
1)	Temperaturerhöhung in °C	Median	0.025	0.975 Verteilung
	2030	1.0	0.4	1.8 gemäss Frei (2004)
	2050	1.8	0.9	3.4 gemäss Frei (2004)
	2070	2.6	1.2	4.7 gemäss Frei (2004)
	2100 *)	3.7	1.6	7.1 gemäss Frei (2004)
Substitutionselastizitäten zwischen		von		bis Verteilung
2)	schneeabh. Wintertourismus - Fernreisen	0.75		3.00 uniform
3)	Fernreisen - Sommertourismus/übrige Aktivitäten	0.75		3.00 uniform
		Erwartungs- wert	Standard- abweichung	Verteilung
4)	im Inland und Ausland produziertem schneeabh. Tourismus	1.50	0.50	normalverteilt
5)	im Inland und Ausland produziertem Sommertourismus/restliche Freizeitaktivitäten	1.50	0.50	normalverteilt

*) geschätzt aus der Extrapolation der Daten von Frei mit Hilfe der globalen Entwicklung von Wigley-Raper (vgl. Frei (2004))

Massive Wohlfahrtseinbussen erst gegen Ende des Jahrhunderts zu erwarten

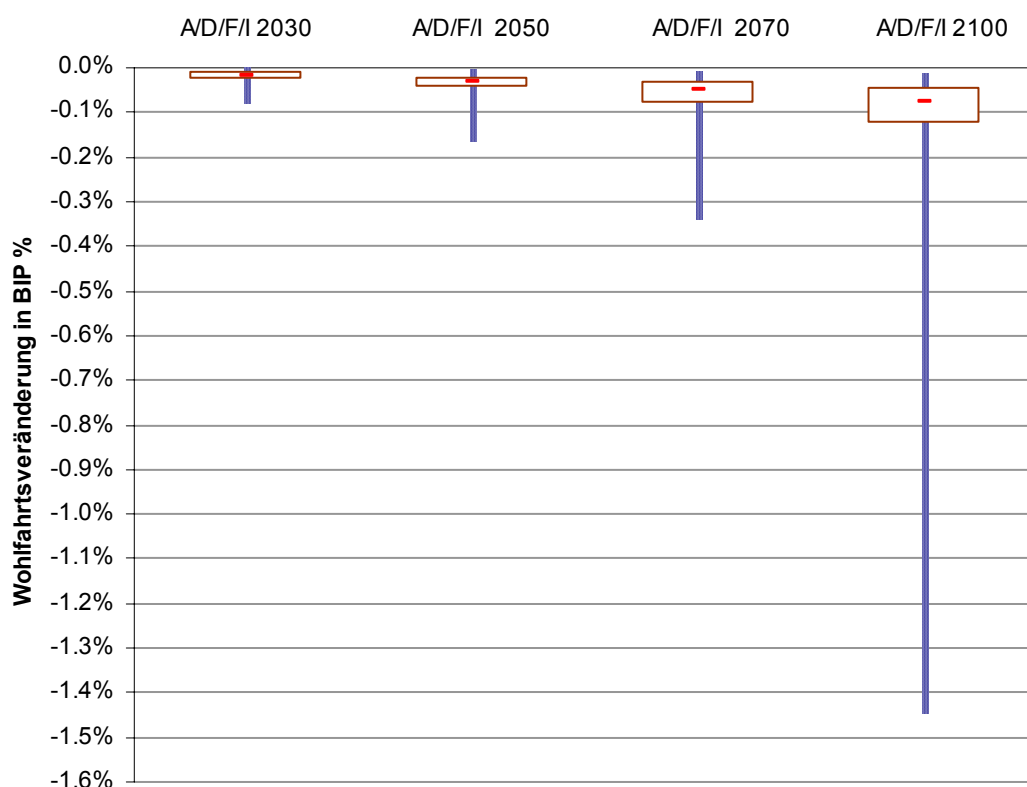
Bis zum Jahre 2050 sind die zu erwartenden Wohlfahrtseinbussen für die Schweiz relativ moderat (vgl. Grafik 6-6): Die zu erwartende Wohlfahrtseinbusse liegt in der Regel unter 0.1 BIP%. Nach 2050 – also bei einer erwarteten Temperaturerhöhung von über 2°C – ist aber mit einer deutlichen Zunahme der Wohlfahrtseinbussen zu rechnen. Mit nach 2050 weiter steigenden Temperaturen nehmen auch die Unsicherheiten bezüglich der zu erwartenden Wohlfahrtseinbussen zu.

Grafik 6-6: Box-Plot der Wohlfahrtsveränderungen für die Schweiz in den Jahren 2030, 2050, 2070 und 2100



Für die Länder A/D/F/I (Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien) ist mit Wohlfahrtseinbussen in derselben Grössenordnung wie bei der Schweiz zu rechnen (vgl. Grafik 6-7).

Grafik 6-7: Box-Plot der Wohlfahrtsveränderungen für A/D/F/I in den Jahren 2030, 2050, 2070 und 2100



Für das Jahr 2050 sind relativ moderate Wohlfahrtseinbussen zu erwarten

Grafik 6-8 und Grafik 6-9 zeigen die Wohlfahrtseinbussen für die Schweiz für das Jahr 2050. Im Durchschnitt (Median) ist mit Wohlfahrtseinbussen von 0.03 BIP% zu rechnen. Setzen wir das in Bezug auf das BIP im Jahr 2005 unter sonst gleichen Annahmen, dann entspricht dies einer Wohlfahrtseinbusse von 120 Mio. CHF (vgl. Tabelle 6-11), wobei der Unsicherheitsbereich (95%-Vertrauensintervall) relativ gross ist und von 30 bis 700 Mio. CHF reicht.

Unsere Nachbarländer sind – absolut betrachtet – stärker betroffen als die Schweiz

Wie die Grafik 6-9 zeigt sind – relativ betrachtet und in BIP% ausgedrückt – unsere Nachbarländer in etwa gleich stark betroffen wie die Schweiz. Dies allerdings bei einer sehr viel geringeren Bedeutung des schneeabhängigen Wintertourismus, dessen Gesamteinnahmen in diesen Ländern insgesamt nur 0.2% des BIP betragen - gegenüber 1.0% in der Schweiz. Der schneeabhängige Wintertourismus ist also in diesen Ländern viel stärker von der Temperaturerhöhung betroffen: Der Wohlfahrtseinbusse der Schweiz von 120 Mio. CHF stehen insgesamt rund 3000 Mio. CHF (Bandbreite von 1000 bis 14'000 Mio. CHF) in unseren Nachbarländern gegenüber. Der schneeabhängige Tourismus in den Alpen wird also bis zum Jahr 2050 zu beträchtlichen Wohlfahrtsverlusten führen, betroffen sind aber vor allem unsere Nachbarländer.

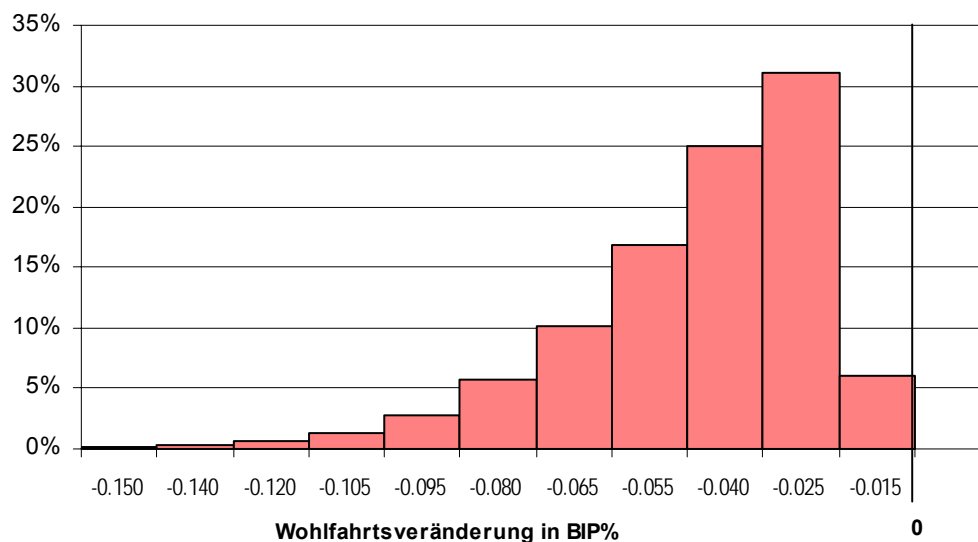
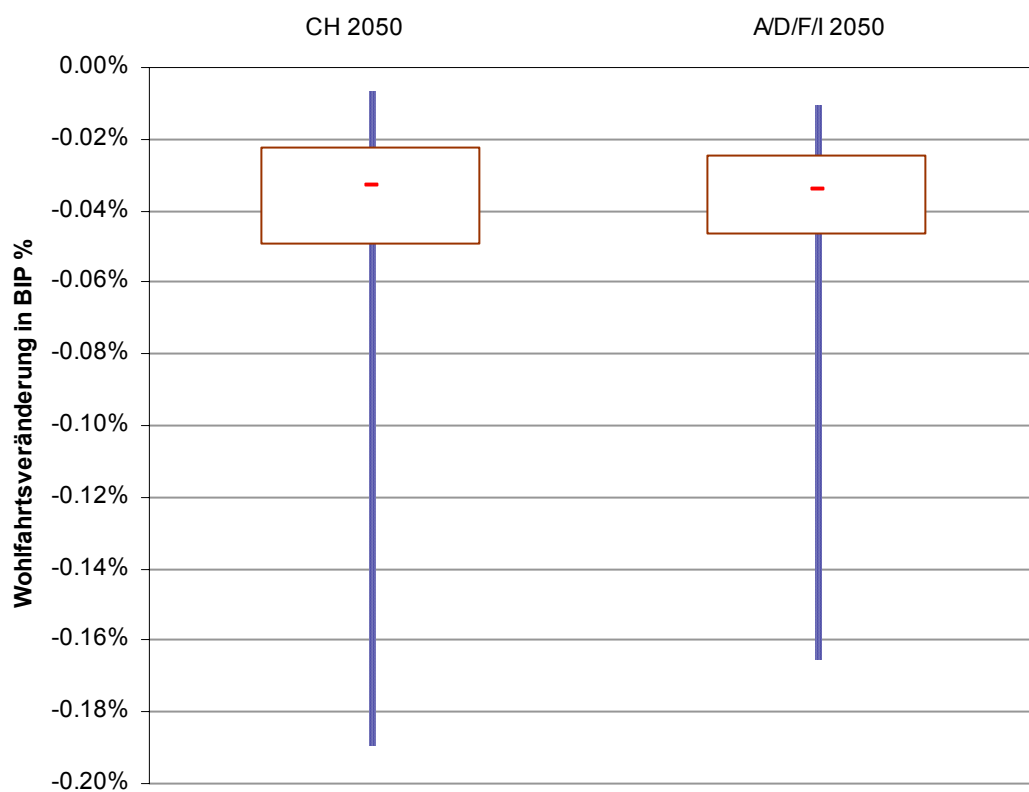
Grafik 6-8: Histogramm der Wohlfahrtseinbussen für die Schweiz im Jahre 2050**Grafik 6-9: Box-Plot der Wohlfahrtsveränderungen für die Schweiz und A/D/F/I im Jahre 2050**

Tabelle 6-11: Wohlfahrtseinbussen für die Schweiz und A/D/F/I für das Jahr 2050

	Anteil des schneeabh. Wintertourismus am BIP in %	Wohlfahrtseinbusse		
		Median	95%-Vertrauensintervall	
		BIP%	Min BIP%	Max BIP%
Schweiz	1.0%	-0.03%	-0.19%	-0.01%
A/D/F/I	0.2%	-0.03%	-0.16%	-0.01%
in Mio. CHF [zu Preisen 2005]				
Schweiz		-120	-692	-27
A/D/F/I		-2'976	-14'317	-975

Vergleich mit der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie rechnet im Wintertourismus bei ähnlichen Annahmen zur Temperaturerhöhung für die Schweiz und das Jahr 2050 mit Einbussen von 1600 bis 2100 Mio. CHF. Als Vergleichswert der vorliegenden Schätzung können die Wohlfahrtseinbussen von 120 Mio. CHF (Median für das Jahr 2050) dienen. Die vorliegende Analyse kommt also zu deutlich tieferen Einbussen. Wie können diese massiven Differenzen erklärt werden:

- Aus der neuesten Studie der OECD/Abegg (2007) kann abgeschätzt werden, dass der Angebotsrückgang nicht so bedeutend ausfällt, wie in der NFP31-Studie angenommen: Rechnen wir mit einem schneeabhängigen Umsatz von 4.1 Mrd. CHF, so berechnen wir bei einer Erwärmung um +2°C einen Angebotsrückgang von 10% oder 410 Mio. CHF.
- Der ausgewiesene Medianwert von 120 Mio. CHF liegt noch einmal deutlich unter diesen 410 Mio. CHF. Dies ist auf folgende Effekte zurückzuführen:
 - Relativ verbesserte Wettbewerbsposition der Schweiz: Der schneeabhängige Wintertourismus ist in der Schweiz relativ weniger stark betroffen als in unseren Nachbarländern. Dies führt zu einer relativen Verbesserung im internationalen Wettbewerb im Bereich des schneeabhängigen Wintertourismus.
 - Gesamte Ausgaben der Haushalte für Freizeitaktivitäten sinken nicht: Das von den Haushalten nicht mehr für schneeabhängigen Wintertourismus ausgegebene Geld wird anderweitig eingesetzt und geht dem Wirtschaftskreislauf nicht verloren. Obwohl wir unterstellen, dass in erster Linie vermehrt ins Ausland gereist wird (Ferienreisen), wird ein Teil dieses Geldes für andere Freizeitaktivitäten, u.a. auch in der Schweiz, eingesetzt.

Würdigung der Resultate

Das hier vorgestellte erstellte Gleichgewichtsmodell zur Analyse der Folgen des Klimawandels für den Schweizer Tourismus betritt Neuland und ist als erste Grobschätzung zu interpretieren. Weiter muss auch erwähnt werden, dass ohne die Vorarbeiten der OECD/Abegg-Studie (2007) eine solche Modellierung gar nicht möglich gewesen wäre.

Für die Erstellung des Datengerüsts mussten teilweise grobe Annahmen getroffen werden. Auch der Modellierungsansatz bedarf noch der Vertiefung. Trotz diesen Vorbehalten geht die vorliegende Analyse über die bisher vorhandenen Abschätzungen hinaus und berücksichtigt verschiedenste, bisher vernachlässigte, Effekte (int. Konkurrenzsituation, veränderte Konsumenten- und Produzentenrenten, Substitutionsbeziehungen, usw.). Weiter zeigt die Analyse, dass eine Beschränkung auf die rein nationale Ebene in einem internationalen Markt zu kurz greift.

Neben der Verbesserung der Datengrundlage und der Diskussion weiterer Modellierungsansätze²⁸ sehen wir vor allem in folgenden Punkten noch Ungewissheiten und weiterer Forschungsbedarf:

- In den internationalen Studien zum Klimawandel wird darauf hingewiesen, dass viele touristisch interessante Destinationen vom Klimawandel stark betroffen sind. Es muss daher die Frage gestellt werden, ob die heutige Einschätzung, dass Fernreisen als primäres Substitut für Skiferien dienen, auch in Zukunft noch Gültigkeit hat.
- In den vorliegenden Abschätzungen wird zwar berücksichtigt, dass der Sommertourismus und die übrigen Freizeitaktivitäten indirekt vom Rückgang beim schneeabhängigen Tourismus profitieren können. Nicht berücksichtigt wurden aber spezifische Standortvorteile der Schweiz im alpinen Sommertourismus.²⁹
- Wie bereits ausgeführt, dürften sich die Produktionsbedingungen im schneeabhängigen Wintertourismus verändern: Die Produktion wird durch den Klimawandel tendenziell teurer (Sicherungsmaßnahmen bei den Transportanlagen, grösserer Aufwand für die Pistenpräparierung, evtl. Erschliessung höher gelegener Gebiete, usw.). Wie hoch diese klimabedingten Zusatzinvestitionen sind, ist heute nicht bekannt.
- Im Rahmen der vorliegenden Abschätzung wurde unterstellt, dass der BIP-Anteil des Tourismus konstant bleibt im Betrachtungshorizont. Wie realistisch diese Annahme ist, kann im Moment nicht beurteilt werden.
- Weiter wäre eine explizite Trennung von Tages- und Ferientourismus wünschbar.
- Wir berechnen relativ moderate klimabedingten Schäden im Tourismus. Dies darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass erstens eine beträchtliche Unsicherheit besteht und dass zweitens - trotz moderater Schäden - beträchtliche klimabedingte Umwälzungen folgen werden. Werden die nötigen Umgestaltungen und Neuorientierung nicht oder verzögert vorgenommen (bspw. Strukturhaltung), so werden die volkswirtschaftlichen Schäden höher ausfallen. Wie schnell sich die Schweizer Tourismusindustrie den neuen Rahmenbedingungen anpassen kann und wie gross allfällige Kosten bei einer suboptimalen Anpassung ist, muss offen bleiben.

²⁸ Das hier verwendete Gleichgewichtsmodell ist statisch. Eine dynamische Formulierung könnte Investitionsverhalten und Kapitalaufbau besser berücksichtigen.

²⁹ Müller H.R. (2007) weist auf diesen Aspekt hin und rechnet mit zusätzlichen positiven Effekte beim Sommertourismus.

6.4 Bauten und Infrastruktur

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Hochwasser und Überschwemmungen

Die NFP31-Studie schätzt die klimabedingten zusätzlichen Kosten im Bereich Hochwasser und Überschwemmungen auf durchschnittlich 135 bis 450 Mio. Franken (von 1995) pro Jahr. Diese Schätzung wird als „spekulativ“ bezeichnet. Die Studie arbeitet aber mit einer Reihe verschiedener Quellen, um die Angemessenheit dieser Werte zu untermauern.

Als wichtigste Quelle dienen Daten von Röthlisberger von der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zu naturbedingten Wasser- und Rutschungsschäden in der Schweiz zwischen 1972 und 1996. Diese enthalten versicherte Sach- und Personenschäden sowie nicht versicherte Elementarschäden (jedoch keine Options- und Existenzwerte). Unter Berücksichtigung des Zuwachses an Gebäude- und Infrastrukturwerten sowie der wachsenden Besiedlungsfläche, folgert die NFP31-Studie, dass die Unwetter der Jahre 1972 bis 1996 zum Zeitpunkt der NFP31-Studie einen durchschnittlichen jährlichen Schaden von 450 Mio. CHF (zu Preisen 1995) verursachen würden. Auf Basis der Annahme, dass die Klimaerwärmung die Schäden durchschnittlich um 30 bis 100 Prozent erhöht, entsteht die Bandbreite von 135 bis 450 Mio. CHF für klimabedingte zusätzliche Schadenskosten in der NFP31-Studie.

Die NFP31-Studie analysiert die Daten des Verbands kantonaler Feuerversicherungen (VKF) und des Elementarschaden-Pools (ES-Pool). Diese zeigen eine starke Zunahme in allen Schadenskategorien (Sturmwind, Hagel Lawinen, Felssturz, Schneedruck), aber einen vergleichsweise geringen Zuwachs beim Hochwasser. Die ausgewiesenen Hochwasserschäden für den Zeitraum 1972-1995 sind bei Röthlisberger 2.5-mal höher, da die Versicherungen nur einen Teil der gesamten Kosten tragen bzw. versichern (bspw. ist die Infrastruktur nicht versichert). Die NFP31-Studie weist darauf hin, dass auch Änderungen in der Praxis der Auszahlung der Schäden einen Einfluss auf die stark steigenden Schadenssätze gehabt haben, schätzt diesen Einfluss aber als „relativ gering oder sogar vernachlässigbar“ ein.

Weiterhin setzt sich NFP31-Studie mit dem Katanos-Bericht von 1995 zu Katastrophen und Notlagen in der Schweiz auseinander. Nach diesem Bericht beträgt der statistische Erwartungswert für Hochwasserschäden 230 Mio. Franken pro Jahr, unter Berücksichtigung der Risikoaversion für grossräumige Hochwasserereignisse ist das „empfundene Schadensmass“ 1.3 Mrd. Franken pro Jahr. Grossräumige Hochwasserereignisse (Wahrscheinlichkeit von 0.2 pro Jahr) schlagen mit durchschnittlich 400 Mio. Franken zu Buche. Der entsprechende Aversionsfaktor 3 lässt diesen jährlichen Schaden auf empfundene 1.2 Mrd. Franken anwachsen. Lokale und (über-)regionale verursachen – bei einem Aversionsfaktor von 1 – wesentlich geringere Kosten. Die NFP31-Studie beurteilt die Verwendung empirisch nicht abgesicherter Aversionsfaktoren im Katanos-Bericht kritisch. Im Weiteren wird der angegebene Mittelwert von 230 Mio. Franken pro Jahr als zu tief eingeschätzt, da sich die Werte auf die Daten von Röthlisberger stützen, allerdings nur bis 1988, ohne dass das in der Zwischenzeit aufgrund der Siedlungsentwicklung gewachsene Schadenspotenzial berücksichtigt wür-

de. Insgesamt betrachtet die NFP31-Studie den Katanos-Bericht als Bestätigung für die zuvor errechneten 450 Mio. als Erwartungsschaden (zum Zeitpunkt der Untersuchung).

Schliesslich zieht die NFP31-Studie einzelne Schätzungen der Versicherungen zu Schadenspotenzialen möglicher lokaler/regionaler Hochwasserereignissen heran, die aber – zudem ohne Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten – wenig geeignet sind, um Aussagen zu zukünftigen Durchschnittswerten für die Gesamtschweiz abzuleiten.

Würdigung: In der NFP31-Studie wurde ein Versuch unternommen, einen Wert für erwartete Hochwasserschäden unter Einbezug verschiedener Studien bzw. Daten zu plausibilisieren.

Der Ansatz, die Entwicklung der Versicherungsschäden zu analysieren und diese durch eine Abschätzung der darin nicht enthaltenen Schäden zu ergänzen, ist grundsätzlich sinnvoll. Die Skepsis gegenüber der Verwendung empirisch nicht abgesicherter Aversionsfaktoren im Katanos-Bericht erscheint berechtigt. Wichtig ist es, sich bei der Beurteilung gestiegener Schadenssummen auch mit den verschiedenen Ursachen auseinanderzusetzen, die ausserhalb des Klimawandels liegen. Die NFP31-Studie legt in dieser Hinsicht gedankliche Grundlagen. Empirische Informationen zum Gewicht einzelner Ursachen konnten jedoch nur in Ansätzen verarbeitet werden.

Ein weiteres Problem betrifft die pauschale Annahme einer klimabedingten Erhöhung der Schäden um 30% bis 100%. Eine Unterscheidung verschiedener Kategorien von Hochwasserereignissen fehlt weitgehend. Neuere naturwissenschaftliche Erkenntnisse legen nahe, jene Hochwasserereignisse, die in der ersten Jahreshälfte vorwiegend im Jura und im nördlichen Mittelland auftreten gesondert zu betrachten, weil es diese Ereignisse sind, die in erster Linie klimabedingt zunehmen werden. Zudem fehlt eine Analyse möglicher Anpassungsmassnahmen, die zwar beim Hochwasser besonders langwierig sind, aber dennoch berücksichtigt werden müssten.

Sturm und Hagel

Die NFP31-Studie ging von einer Zunahme der Sommerstürme, von intensiveren Winterstürmen und einer höheren Häufigkeit von Hagelereignissen aus. Insgesamt wurde in diesem Bereich mit einem klimabedingten Anstieg der Schäden um 30% bis 50% gerechnet. Die NFP31-Studie errechnet aus den VKF/ES-Pool-Daten auf 1995 bezogen einen Erwartungsschaden von 219 Mio. CHF (davon 141 Mio. für Sturm und 78 Mio. für Hagel, Aufschlag für nicht versicherte öffentliche Werte: 50%). Dies führt zu klimabedingten Zusatzschäden von 66 bis 110 Mio. Franken, die allerdings von der naturwissenschaftlichen Seite her als „recht unsicher“ eingestuft werden.

Würdigung: Die Annahme einer generellen Zunahme von Sturm- und Hagelschäden um 30% bis 50% ist nach heutigem Erkenntnisstand überholt. Der Erwartungswert für Sturmschäden dürfte sich demzufolge für die Schweiz im Vergleich zu heute nicht wesentlich ändern. Hagelschäden bleiben grundsätzlich relevant, es können aber heute noch keine Prognosen zu den klimabedingten Veränderungen beim Hagel gemacht werden. Die Dekomposition der

Schadenszunahme nach verschiedenen Einflussfaktoren (s.o. unter „Hochwasser und Überschwemmungen“) wurde in der NFP31-Studie allerdings nur sehr grob vorgenommen.

b) Schadenskosten für die Schweiz: Vorgehen

Vorbemerkung: Begrenzte Aussagekraft der Versicherungsdaten

Zwischen (Rückversicherungs-)Prämien und Erwartungen über zukünftige Schäden besteht kein direkter Zusammenhang. Weder Prämien noch Schäden sagen etwas über die zukünftigen Schäden aus. Die Prämien stehen – grob gesagt – in einem guten Verhältnis zu den Schäden der letzten 10 Jahre (in dem versicherten Gebiet). Die Rückversicherungsprämien sind zu einem Teil von Ereignissen in anderen Ländern oder der allgemeinen Finanzkraft der Rückversicherungen abhängig.

Die Schadenstatistiken der Elementarschadenversicherungen stellen dagegen eine wichtige Datenquelle zur Quantifizierung der Kosten von Extremereignissen dar. Allerdings beziehen sich diese Statistiken naturgemäss auf Ereignisse aus der Vergangenheit. Eine einfache Fortschreibung regressierter Zeitreihen führt aus verschiedenen Gründen nicht ans Ziel:

- Die Versicherungsstatistiken beschränken sich auf tatsächlich versicherte, private Schäden. Es müssen Annahmen zu nicht versicherten bzw. nicht versicherbaren Schäden sowie zu Schäden an der öffentlichen Infrastruktur getroffen werden.
- Zeitreihen spiegeln stark die gesellschaftlichen Veränderungen der Vergangenheit wieder (Wirtschaftswachstum, Siedlungsstruktur, Konsumverhalten, verwendete Materialien). Es sollte nicht angenommen werden, dass die Veränderungen in derselben Stärke und Richtung über die nächsten 30 bis 70 Jahre anhalten.
- Die gesellschaftlichen Veränderungen schliessen auch erhebliche Änderungen in der Schadensregulierung mit ein. Die Versicherungen stellen fest, dass das gleiche Ereignis auch auf der Ebene des einzelnen Schadendossiers im Zeitablauf immer höhere Kosten auslöst, z.B. aufgrund eines privaten Outsourcing der Schadenbehebung.
- Die Versicherungen selbst haben ihre Produkte teilweise an veränderte (klimatische und andere) Bedingungen angepasst, was sich in der regulierten Schadenssumme niederschlägt.
- Letztlich widerspiegeln die Schadenerfahrungen nicht direkt das Schadenpotenzial, da insbesondere die sehr seltenen Ereignisse in der Regel fehlen.

Definition von Typereignissen

Da eine Dekomposition der verschiedenen Mechanismen, welche auf die Zeitreihen der Schadenstatistiken wirken, letztlich nur auf Basis von Befragungen möglich ist, wählen wir einen Ansatz, der auf Einzelereignissen statt auf Zeitreihen aufbaut. Die Zeitreihen unterstützen lediglich die Plausibilisierung der erzielten Ergebnisse.

- Wir definieren Ereignisse aus der Vergangenheit als Referenzextremereignisse. Die Referenzereignisse liegen nicht allzu lange zurück. Sie sind schadensseitig gut dokumentiert und es wird erwartet, dass sie in der Zukunft klimabedingt häufiger auftreten werden. Dabei können wir auf quantitative Prognosen hinsichtlich der Häufigkeit ihres zukünftigen Auftretens zurückgreifen. Als Typereignis verwenden wir das Hochwasser vom Mai 1999. Das Sommerhochwasser vom August 2005 ist sowohl von der Jahreszeit als auch vom geographischen Auftreten her nicht typisch für die zu erwartete Zunahme von Hochwasserextremereignissen. Typischer sind Hochwasserereignisse im Jura und im nördlichen Mittelland während der ersten Jahreshälfte, weshalb wir das Hochwasser vom Mai 1999 als Typereignis auswählen.

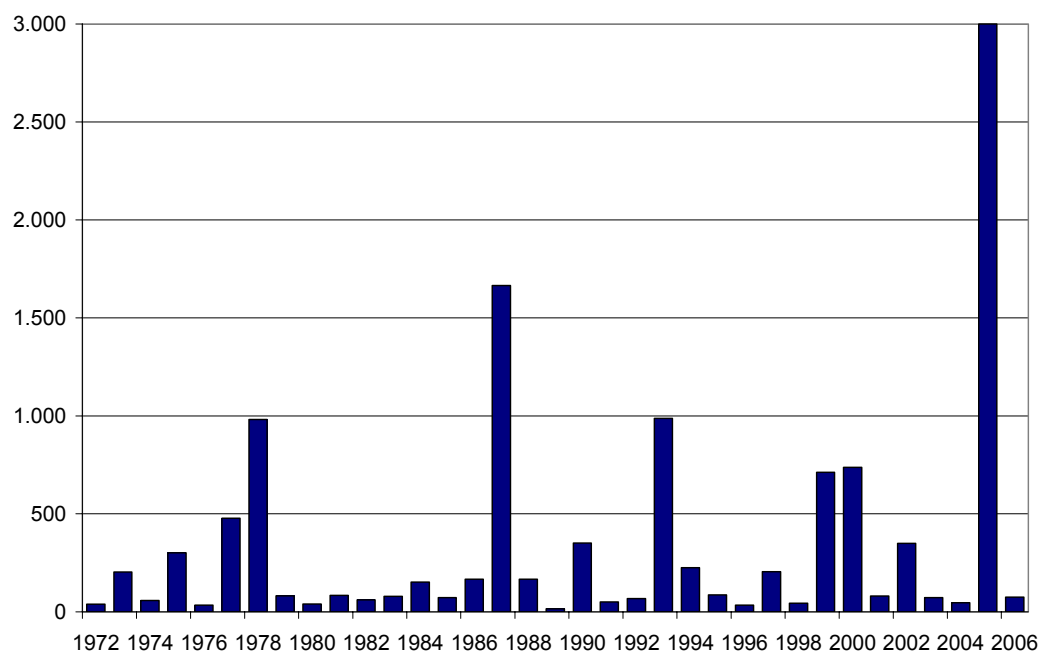
Referenzentwicklung und Anpassung

Wie bereits dargestellt, werden Annahmen über die Anpassung der Gesellschaft an zunehmende Häufigkeiten der Referenzereignisse getroffen. Die Gesamtkosten des Klimawandels bestehen in der jeweiligen Schadenkategorie aus den Anpassungskosten und den verbleibenden Schäden.

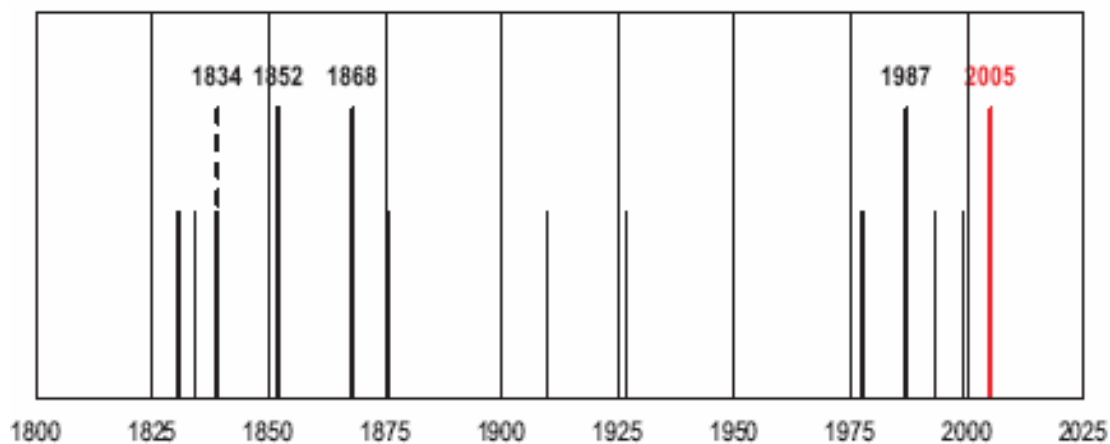
c) Hochwasser und Überschwemmungen

In den letzten Jahrzehnten ist eine Zunahme der Hochwasserschäden zu verzeichnen (siehe Grafik 6-10). Die letzten dreissig Jahre sind durch eine Reihe schadenintensiver Hochwasserereignisse geprägt (1978, 1987, 1993, 1999, 2000, 2005). Das Hochwasser vom August 2005 war mit einem Gesamtschaden von ungefähr 3 Mrd. Franken besonders teuer. Eine vergleichbare Häufung von Hochwasserereignissen war in den Jahrzehnten zuvor nicht aufgetreten. Vielmehr war nach dem Jahrhunderthochwasser von 1910 eine lange Phase relativer Ruhe eingeleitet. Die Grafik 6-11 zeigt, dass sich aber im 19. Jahrhundert mehrere Hochwasser ereignet haben, die – je nach Umrechnungsgrundlage – das Schadensmass von 2005 erreichen oder sogar übertreffen.³⁰ Bei der Betrachtung einer längeren Zeitperiode verlieren somit die Hochwasserschäden ab den 70er-Jahren im historischen Kontext ihre Einzigartigkeit. Eine Trendextrapolation aus den Ereignissen der letzten 30 Jahren wäre somit nicht statthaft.

³⁰ Vgl. dazu Bezzola G.R., Hegg C. (2007), S. 212.

Grafik 6-10: Hochwasserschäden 1972-2006 (Mio. CHF von 2006)

Quelle: WSL

Grafik 6-11: Grosse überregionale Hochwasserereignisse seit 1800³¹³¹ Zitiert aus Bezzola G.R., Hegg C. (2007), basierend auf Röthlisberger 1991 und Pfister 2002.

Wachsende Schäden sind alleine noch kein verlässlicher Indikator für einen Einfluss des Klimawandels. Wirtschaftswachstum, die Besiedlung gefährdeter Bereiche sowie veränderte Gepflogenheiten bei der Erfassung und Regulierung der Schäden können die wachsenden Schäden zumindest teilweise erklären. Selbst die zeitliche Häufung von Hochwasserereignissen muss nicht zwingend mit dem Klimawandel zu tun haben. Um dies beurteilen zu können, müssen die regionalen Veränderungen der Niederschläge und der Abflüsse detailliert analysiert werden.

Wahl des Typereignis: Hochwasser Mai 1999

Nach heutigem Stand des Wissens betrifft der Klimawandel also vorwiegend die Abflüsse im Winter im nördlichen Mittelland und im Jura. Winterhochwasser werden in diesen Regionen wahrscheinlich häufiger auftreten, und es muss damit gerechnet werden, dass die Hochwasserabflüsse volumenmässig grösser werden.

Als Typereignis eignet sich am ehesten das Hochwasser von Mitte Mai 1999, das sehr grossflächig in den besagten Regionen auftrat. Allerdings war auch der Alpen- und Voralpenraum betroffen, während der Jura nur vergleichsweise geringe Schäden zu verkraften hatte. Es ist also notwendig, das Typereignis so zu „zerlegen“, dass die Vorgänge und Schäden in den relevanten Gebieten betrachtet werden können. Dies ist streng genommen gar nicht möglich, weil Ereignisse aus der alpinen Region die Abflüsse der grösseren Flüsse im Flachland beeinflussen. Im Weiteren werden die Zusammenhänge durch die Regelfunktion von Seen und Speicherbecken verkompliziert.

Bei allen Schwierigkeiten, welche die Verwendung des 99er-Hochwassers als Typereignis mit sich bringt, gilt, dass andere grosse Hochwasser der letzten 30 Jahre als Typereignis für Winterhochwasser im nördlichen Mittelland und im Jura nicht in Frage kommen.

- Im August 2005 lag der Schwerpunkt der Ereignisse in der Innerschweiz und im Berner Oberland.
- Im Oktober 2000 war vor allem das Wallis betroffen.
- Im September 1993 betraf das Hochwasser ebenfalls vor allem das Wallis sowie das Tessin.
- 1987 gab es mehrere grosse Hochwasserereignisse, die jedoch vorwiegend im Sommer auftraten mit einem Schwerpunkt auf Tessin, Graubünden, Uri und Wallis.
- Das Thurhochwasser 1978 fiel in den Sommer (August).

Diese Aufstellung zeigt bereits, dass die meisten Schäden bisher in den Alpen und/oder im Sommer zu verzeichnen waren. Es kann aber nach heutigem Stand der Forschung für diese Schäden kein Zusammenhang zum Klimawandel nachgewiesen werden. Was sich nach heutigem Stand als Einfluss des Klimawandels quantifizieren lässt, bezieht sich also nur auf einen geringen Teil der jährlichen Erwartungsschäden von ca. 350 Mio Franken (Quelle: BA-FU). Die meisten – in den letzten Jahrzehnten beobachteten – Extremereignisse stehen nach

heutiger Erkenntnisse nicht in Zusammenhang mit der Klimaänderung. Sie werden mit oder ohne Klimawandel auch künftig auftreten. Diejenigen Extremereignisse, die durch die künftige Klimaänderung vermutlich vermehrt oder verstärkt auftreten, betreffen nur einige Prozente der gesamten Schadenssumme der vergangenen Extremereignissen.

Vorgehen

Um die veränderte Häufigkeit des Typereignisses einzuschätzen, konzentrieren wir uns auf die Abflüsse kleinerer Gewässer im nördlichen Mittelland und im Jura, welche unabhängig von den Abflüssen in den Alpen sind und an denen im Mai 1999 Schäden aufgetreten sind. Bei der Untersuchung des Typereignisses gilt es abzuschätzen:

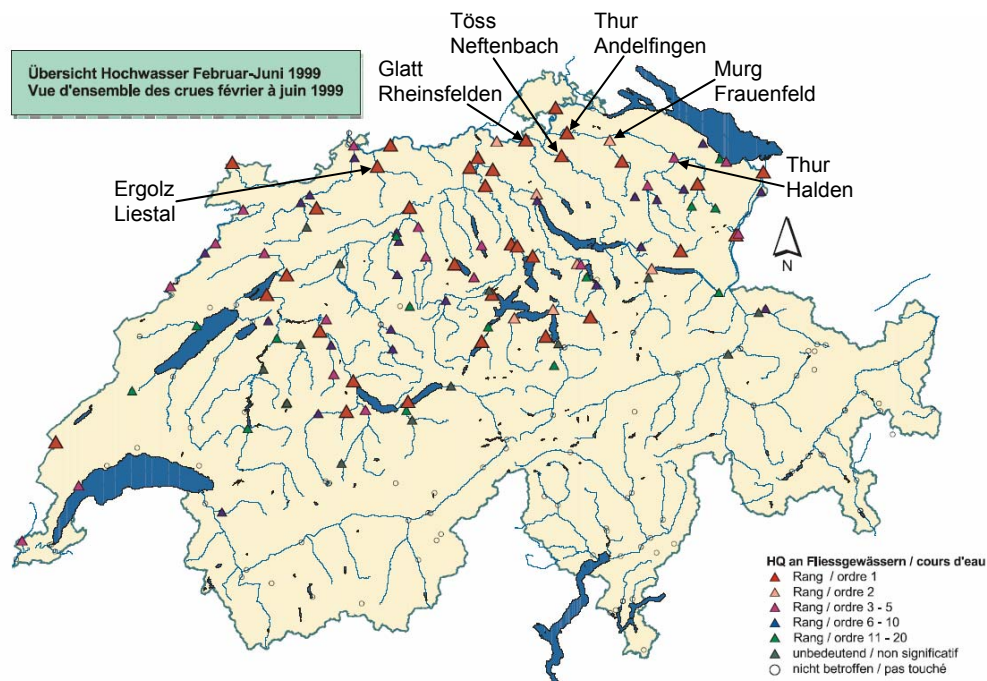
- welche Jährlichkeit das Ereignis 1999 in den untersuchten Gewässern hatte. Handelte es sich tatsächlich um ein Jahrhundertereignis für die relevante Region?
- welche Jährlichkeit dasselbe Ereignis 2050 hätte;
- welche Schäden in der relevanten Region während des Typereignisses 1999 eingetreten sind;
- welche Schäden zu erwarten wären, wenn das Typereignis im Jahr 2050 einträte. Dabei sind voraussichtliche Anpassungsmassnahmen zu berücksichtigen.

Wahl der Messstationen / Einzugsgebiete

Zur Untersuchung der Abflüsse und der Jährlichkeiten wurden sechs Messstationen ausgewählt, welche die folgenden Kriterien erfüllen:

- Standorte in der relevanten Region;
- vom Hochwasserereignis 1999 betroffen (hydrologisch und schadenseitig);
- Der Abfluss an der Messstation repräsentiert ein grösseres Einzugsgebiet (Messstationen am Unterlauf);
- Der Abfluss an den Messstationen ist unabhängig von (im Mai 1999 ebenfalls angestiegenen) Abflüssen aus dem Alpenraum sowie von der Regelung der Seen und Speicherbecken (Aare, Rhein, Limmat etc. nicht geeignet).

In der Grafik 6-12, welche den Rang der Hochwasserabflüsse 1999 zeigt (rote Dreiecke stehen für Abflüsse mit Rang 1), sind die ausgewählten Messstationen bezeichnet.

Grafik 6-12: Hochwasserabflüsse 1999

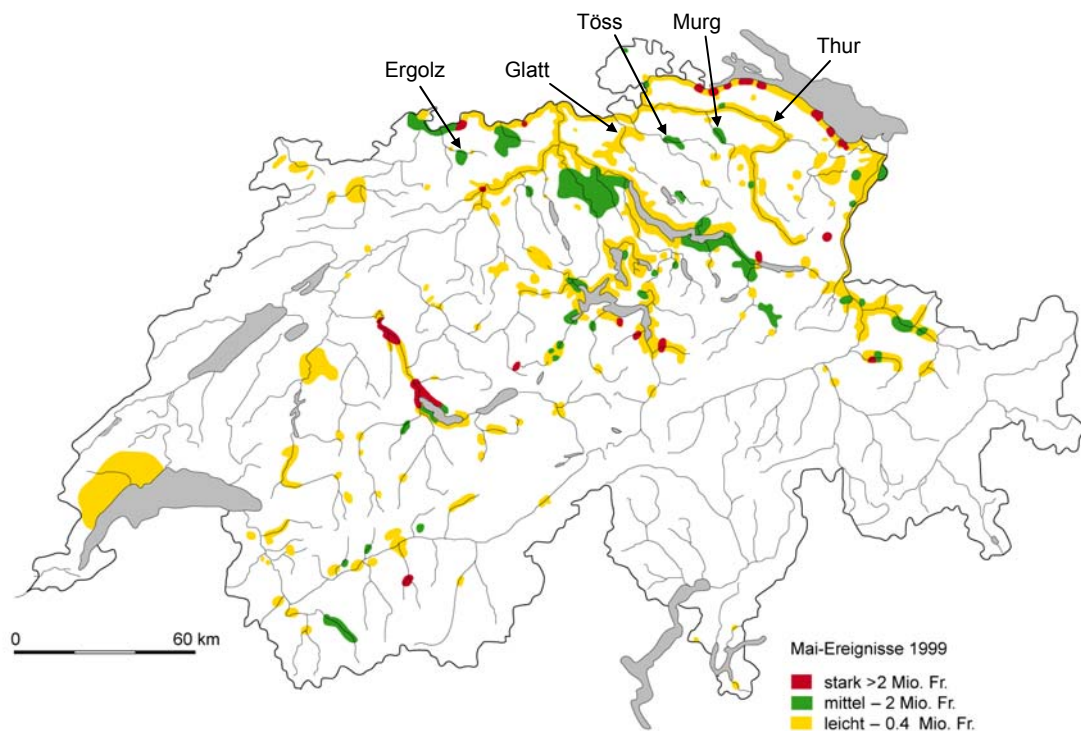
Quelle: Bundesamt für Wasser und Geologie 2000b

Das Hochwasser im Mai 1999

Aus Grafik 6-13 ist die regionale Verteilung der Hochwasserschäden im Mai 1999 zu ersehen. Die an den ausgewählten Flüssen aufgetretenen Schäden machen nur einen kleinen Teil des Gesamtschadens aus. Einige der wichtigsten Schäden sind dagegen für die Analyse des vom Klimawandel betroffenen Typereignisses irrelevant. Dies gilt beispielsweise für die Aare zwischen Thun und Bern, für das Wallis, die Innerschweiz, Glarus und Graubünden.

Nur teilweise relevant, da mit höheren Abflüssen aus dem Alpenraum gekoppelt, sind Rhein und Bodensee, der Unterlauf der Aare und die Limmat. Obwohl die ausgewählten Flüsse nur einen kleinen Teil der Schäden vom Mai 1999 ausmachen, sind sie am ehesten geeignet, die durch den Klimawandel zunehmenden Schäden zu repräsentieren.

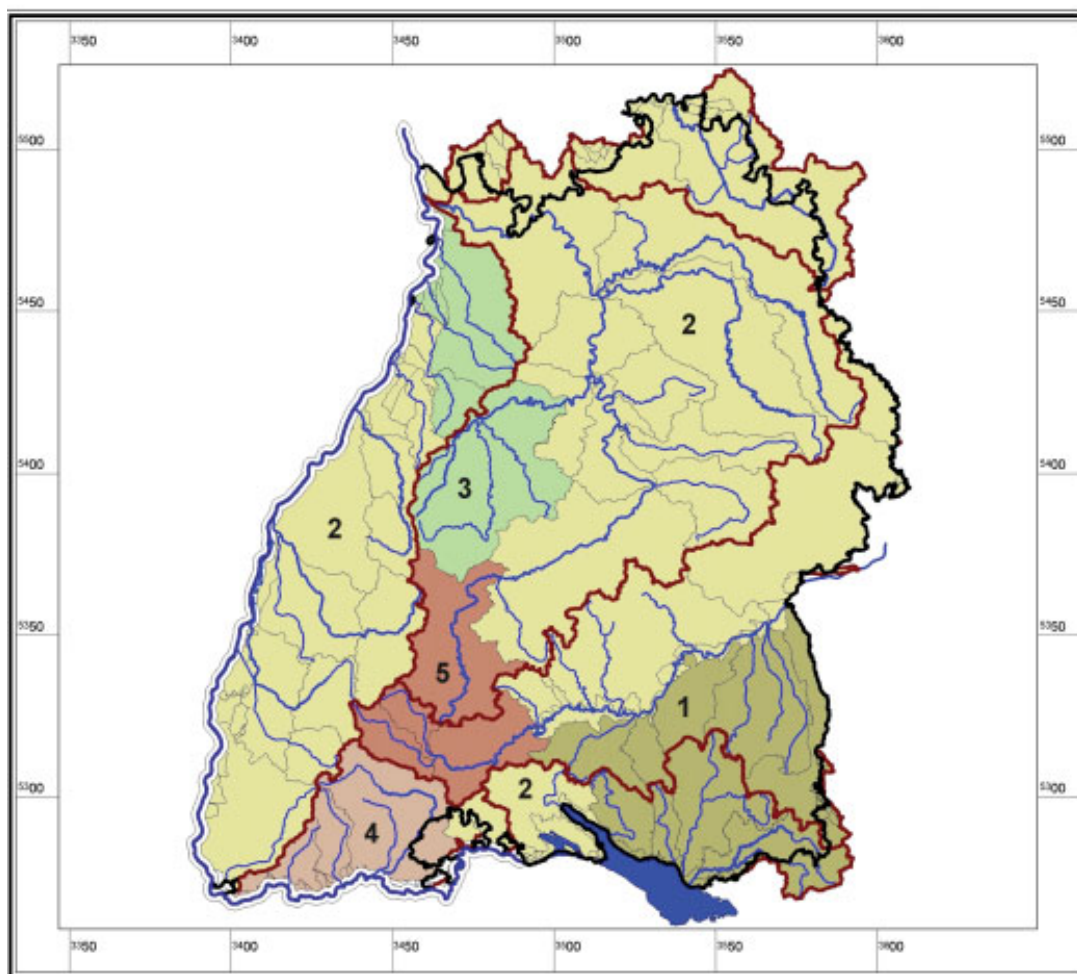
Der Klimawandel kann aber auch dort zusätzliche Schäden auslösen, wo die Zusammenhänge aufgrund des Einflusses von Seen, Speicherbecken und alpinen Abflüssen schwieriger zu erfassen sind, z.B. im Grossraum Zürich, im Rheintal und am Bodensee, im unteren Aaretal. Wir haben im Rahmen der Definition des Typereignisses die Schäden vom Mai 1999 in folgenden Kantonen berücksichtigt: Basel Stadt, Basel Land, Jura, Bern (ohne Oberland und Aare), Solothurn, Aargau, Zürich, Schaffhausen, Thurgau und St. Gallen. Inwiefern die ausgewählten Messstationen ein repräsentatives Abbild der Zusammenhänge hinsichtlich des gesamten relevanten Schadens liefern, ist jedoch schwer zu beurteilen.

Grafik 6-13: Hochwasserschäden im Mai 1999

Quelle: Bundesamt für Wasser und Geologie 2000a

Veränderung des Abflussregimes aufgrund des Klimawandels

Für die Schweiz bestehen derzeit noch keine Prognosen hinsichtlich der Frage, wie sich die Abflussregimes aufgrund des Klimawandels ändern. Wir greifen deshalb auf die Arbeiten des KLIWA-Projekts (KLIWA 2006) zurück, welches Klimaänderungsfaktoren für die Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg für 2050 ausweist. Dabei werden fünf Regionen unterschieden (vgl. Grafik 6-14). Die Klimaänderungsfaktoren sind Tabelle 6-12 zu entnehmen.

Grafik 6-14: Hydrologische Regionen in Baden-Württemberg nach der KLIWA-Studie

Quelle: KLIWA 2006, S. 17.

Tabelle 6-12: Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserabflüsse 2050 nach der KLIWA-Studie

<i>Region</i>	1	2	3	4	5
<i>Jährlichkeit</i>					
2	1.25	1.50	1.75	1.50	1.75
5	1.24	1.45	1.65	1.45	1.67
10	1.23	1.40	1.55	1.43	1.60
20	1.21	1.33	1.42	1.40	1.50
50	1.18	1.23	1.25	1.31	1.35
100	1.15	1.15	1.15	1.25	1.25
200	1.12	1.08	1.07	1.18	1.15
500	1.06	1.03	1.00	1.08	1.05
1000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Quelle: KLIWA 2006, S. 17.

Klimaänderungsfaktoren sind ein Indikator dafür, um wie viel höher ein Hochwasserabfluss (in Kubikmetern pro Sekunde) mit einer bestimmten Jährlichkeit im Jahr 2050 ausfällt (Beispiel: ein 50-jähriges Hochwasser hat in Region 2 im Jahr 2050 einen um 23 % höheren Abfluss als 2006).

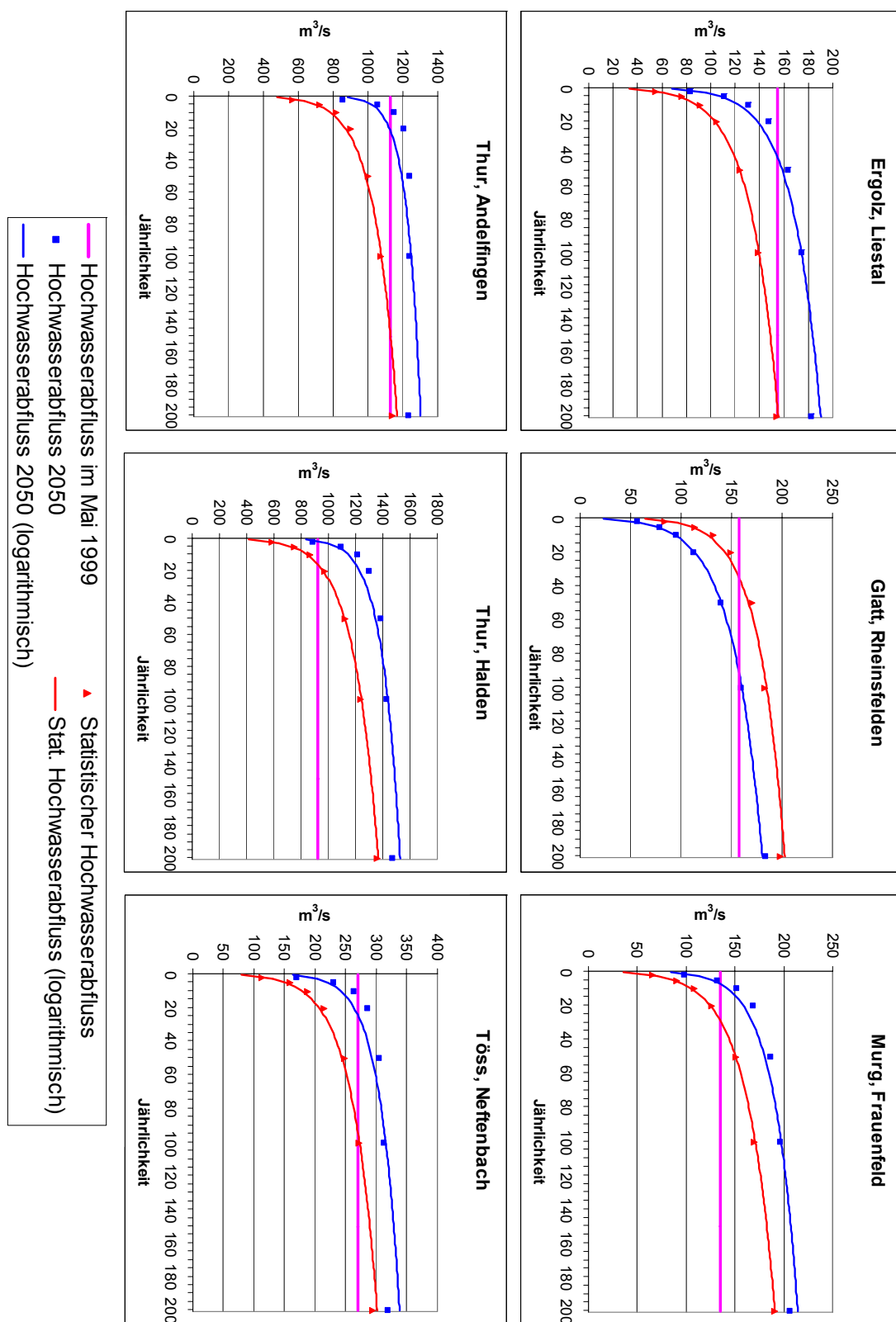
Faktor 1.00 für 1000-jährige Hochwasser bedeutet, dass es auf der Basis der bisherigen Klimaprognosen keine einigermaßen verlässlichen Anhaltspunkte dafür gibt anzunehmen, dass sich die Grösse eines 1000-jährigen Ereignisses ändert. Diese Ereignisse sind so aussergewöhnlich und ihr Ausmass so unbestimmt, dass der Einfluss des Klimawandels nicht bestimmbar ist. Das bedeutet nicht notwendigerweise, dass kein Einfluss besteht, sondern lediglich, dass der Einfluss so unbestimmt ist, dass kein Faktor verschieden von eins angegeben werden kann.

Aufgrund der geographischen Nähe und topographischen Ähnlichkeit mag es nicht zu gewagt erscheinen, die baden-württembergischen Regionen der Schweizer Regionen jenseits der Grenze zuzuordnen. Der Jura kann am ehesten der angrenzenden Region 4, das nördliche Mittelland der angrenzenden Region 2 zugeordnet werden. Selbstverständlich ist die Übertragbarkeit der jeweiligen Klimaänderungsfaktoren zweifelhaft, jedoch im Vergleich zur Bestimmung der Faktoren selbst eher ein kleineres Problem.

Bestimmung klimabedingte Veränderung der Jährlichkeiten des Hochwassers 1999

Da keine Schätzungen zum Zusammenhang zwischen der Veränderung des Hochwasserabflusses und den Schäden vorliegen, kann die Quantifizierung der durch den Klimawandel ausgelösten zusätzlichen Schäden nur über die veränderte Jährlichkeit des Typereignisses erfolgen. Die Jährlichkeiten verschiedener Hochwasserabflüsse sind für die ausgewählten sechs Messstationen bekannt und liegen in Form von log-Funktionen vor (vgl. Grafik 6-15, rote Kurven). Ebenfalls bekannt sind die Hochwasserabflüsse vom Mai 1999 (violette Linien), so dass sich die Jährlichkeit des Typereignisses für jede Messstation bestimmen lässt (Schnittpunkt mit der roten Linie). Durch Übertragung der baden-württembergischen Klimaänderungsfaktoren für die verschiedenen Jährlichkeiten kann eine neue log-Funktion berechnet werden, welche den Zusammenhang zwischen Hochwasserabflüssen und Jährlichkeiten im Jahr 2050 abschätzt (blaue Kurve). Der Schnittpunkt zwischen dem Hochwasserabfluss von 1999 und der blauen Kurve gibt die Jährlichkeit des Typereignisses an der betreffenden Messstation im Jahr 2050 an.

Grafik 6-15: Hochwasserabflüsse und Jährlichkeit für ausgewählte Messstationen



Der Schadensmultiplikator für das Jahr 2050

Tabelle 6-13 zeigt die Jährlichkeiten des Typereignisse an den sechs Messstationen für die Jahre 1999 und 2005 noch einmal in Tabellenform. Der Schadenmultiplikator für jede Messstation ist der Quotient aus den Jährlichkeiten, d.h.: an der Ergolz in Liestal tritt der beim Typereignis gemessene Abfluss im Jahr 2050 statistisch viereinhalb mal häufiger auf als 1999.

Das methodische Zwischenziel der Tabelle 6-13 ist es, einen Gesamtschadenmultiplikator für das Typereignis zu berechnen, der sowohl die Jährlichkeiten als auch die Repräsentativität der einzelnen Messstationen für die relevanten Schäden berücksichtigt. Auf die Probleme der Repräsentativität der ausgewählten Messstationen insgesamt für den relevanten Schaden des Typereignisses wurde bereits hingewiesen. Die Schadengewichtungsfaktoren für die einzelnen Messstationen wurden hier so gewählt, dass sie ungefähr den Anteil der Schäden wiedergeben, welche die jeweilige Messstation am Gesamtschaden in den sechs ausgewählten Flusseinzugsgebieten repräsentiert. Dabei wäre eigentlich zu berücksichtigen, dass ein Teil der Schäden nicht durch den Abfluss (im Fluss) entsteht, sondern andernorts direkt aufgrund von Starkniederschlägen.

Der Erwartungsschadenindikator, der für 1999 auf eine Summe von 100 skaliert ist, berücksichtigt die Jährlichkeiten und die Gewichtungsfaktoren. Die einzelnen Erwartungsschadenindikatoren können für das jeweilige Jahr aggregiert werden. Der Quotient aus den Erwartungsschadenindikatoren der Jahre 2050 und 1999 ergibt den gesuchten Schadenmultiplikator für 2050. Dieser beträgt 5.88.

Tabelle 6-13: Berechnung des Schadenmultiplikators für das Jahr 2050

Messstation	Hochwasserabfluss im Mai 1999 [m ³]	Jährlichkeit des 99er-Abflusses	Jährlichkeit des 99er-Abflusses im Jahr 2050	Schadengewichtungsfaktor 1999	Erwartungsschadenindikator	Erwartungsschadenindikator 2050	Schadenmultiplikator 2050
Ergolz Liestal	155	198	44	0.20	4.9	21.9	4.50
Glatt Rheinsfelden	155	85	33	0.10	5.7	14.6	2.58
Murg Frauenfeld	135	30	8	0.20	32.1	120.3	3.75
Thur Andelfingen	1130	152	23	0.15	4.8	31.4	6.61
Thur Halden	920	17	2	0.15	42.4	361.1	8.50
Töss Neftenbach	270	95	25	0.20	10.1	38.5	3.80
Gesamt				1.00	100.0	587.9	5.88

Berechnung der zusätzlichen Hochwasserschäden 2050

Die Gesamtkosten der Hochwasserereignisse von Mitte Mai 1999 in der Schweiz betragen 577 Mio. CHF (Quelle: WSL). Die Schäden im relevanten Gebiet – Kantone Basel Stadt, Basel Land, Jura, Bern (ohne Oberland und Aare), Solothurn, Aargau, Zürich, Schaffhausen, Thurgau und St. Gallen betrugen 362.2 Mio. CHF bzw. teuerungsbereinigt 383.7 Mio. CHF von 2005.

Aufgrund des Wirtschaftswachstums zwischen 1999 und 2005 hätten die Ereignisse vom Mai 1999 in den relevanten Gebieten bereits Schäden von 418.9 Mio CHF ausgelöst. Im Jahr 2050 wären es (zunächst unter der unrealistischen Annahme, dass keine Anpassungsmassnahmen umgesetzt werden) 627.0 Mio. CHF (bei durchschnittlich 0.9 % Wirtschaftswachstum) bzw. zwischen 524.3 Mio. CHF (bei 0.5%) und 1021.3 Mio. CHF (bei 2.0%).

Die Maihochwasser von 1999 galten im nördlichen Mittelland als 100-jähriges Ereignis. Dies bestätigt sich, jedenfalls was die Abflüsse an den sechs berücksichtigten Messstationen betrifft. Bei einer Gewichtung der Abflussjährlichkeiten mit den jeweiligen Schadengewichtungsfaktoren aus Tabelle 6-13 beträgt die Jährlichkeit der Hochwasserereignisse von Mitte Mai 1999 98.45 Jahre. Tabelle 6-14 enthält die Berechnung des zusätzlichen Erwartungsschadens im Jahr 2050 ohne Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen. Der Erwartungsschaden wird berechnet, indem man den durch das Typereignis verursachten Schaden durch die Jährlichkeit dividiert. Die Klimaänderung wird durch Multiplikation mit dem Schadenmultiplikator von 5.88 berücksichtigt.

Das Typereignis von 1999 hat grosse Teile des relevanten Gebietes betroffen. Dennoch bleiben Gebiete, insbesondere im Jura, welche voraussichtlich ebenfalls vom Klimawandel betroffen sein werden. Um diese Gebiete zu berücksichtigen, muss der Erwartungsschaden, welcher auf der Basis des Typereignissen berechnet wurde, zusätzlich extrapoliert werden. Welcher Faktor dafür heranzuziehen ist, bleibt unklar. Er muss auf jeden Fall grösser als eins sein. Die Grossflächigkeit des 99er-Hochwassers spricht andererseits dafür, dass der Faktor den Wert zwei nicht übersteigen sollte. Wir haben uns deshalb für einen mittleren Wert von 1.5 entschieden, bei einer Bandbreite von 1.25 bis 2.0.

Tabelle 6-14: Berechnung des zusätzlichen Hochwassererwartungsschadens für 2050 (Mio. CHF von 2005, vor Anpassungsmassnahmen)

	<i>Durchschnittliches jährliches Wachstum bis 2050</i>								
	<i>0.9%</i>			<i>0.5%</i>			<i>2.0%</i>		
Kosten des Typereignisses bei Auftreten im Jahr 2050	627.0			524.3			1021.3		
Erwartungsschaden 2050 ohne Klimaänderung	6.4			5.3			10.4		
Erwartungsschaden 2050 mit Klimaänderung	37.4			31.3			61.0		
Zusätzlicher Erwartungsschaden 2050	31.1			26.0			50.6		
Faktor zur Berücksichtigung relevanter Regionen, die 1999 nicht betroffen waren	1.50	1.25	2.00	1.50	1.25	2.00	1.50	1.25	2.00
Zusätzlicher Erwartungsschaden 2050 vor Anpassungsmassnahmen	46.6	38.8	62.1	39.0	32.5	52.0	75.9	63.3	101.2

Hochwasserschäden unter Berücksichtigung der Anpassungskosten

Die Investitionen in die Gefahrenprävention sind hauptsächlich durch historische Extremereignisse geprägt. Nach einer ereignisarmen Zeit vom Beginn des 20. Jahrhunderts bis nach 1970 führte der Anstieg an Unwetterschäden in den letzten 30 Jahren zu einem Nachholbedarf in der Gefahrenprävention. Auch künftige Investitionen in die Gefahrenprävention sind notwendig - mit oder ohne Klimawandel. Die Massnahmen werden zwar die Auswirkungen klimabedingter Unwetterschäden nicht gänzlich verhindern können, es darf aber davon ausgegangen werden, dass auch grössere Ereignisse schadenfrei bzw. schadenmindernd bewältigt werden können

Es bestehen also gute Chancen, die Hochwassererwartungsschäden durch geeignete Anpassungsmassnahmen (raumplanerische Massnahmen, baulich-technische Massnahmen des Hochwasserschutzes, verbesserte Warnsysteme und Einsatzplanung, etc.) wesentlich zu reduzieren. Nach Einschätzung der Abteilung Gefahrenprävention des BAFU ist eine Reduktion des Erwartungsschadens um 75% bei Anpassungskosten von ca. 180 Mio. Franken pro Jahr nicht unrealistisch. Dabei würden Massnahmen priorisiert, bei denen ein Verhältnis von Investitionskosten zu Erwartungsschadenreduktion von 1:5 besteht.

Weiter stellt sich die Frage, ob die zweckmässigen Investitionen in die Gefahrenprävention mit Klimawandel höher ausfallen als ohne. Mittelgrosse (20- bis 50-jährige) und grössere sowie seltenere (bspw. 100-jährigen) Ereignisse bei Hochwasser, Murgängen und Übersarungen (Ablagerung von Wildbachschutt und Murgangmaterial ausserhalb des Gerinnes) werden aufgrund des Klimawandels vermutlich häufiger auftreten. Dadurch würden die Schutzbauten stärker beansprucht, was wiederum zu höheren Unterhaltskosten führen könnte. Ob dadurch auch die Investitionen in die Gefahrenprävention wachsen werden, bleibt indessen ungewiss. Sowohl eventuell höhere Unterhaltskosten als auch die allfällige grössere Investitionen in die Gefahrenprävention können somit heute noch nicht beziffert werden und sind in der vorliegenden Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

Es ist vielmehr politisch noch unklar, ob die ohnehin angezeigten Anpassungsmassnahmen tatsächlich umgesetzt werden. Politische Herausforderungen bestehen zum Beispiel bei raumplanerischen Massnahmen sowie bei der Finanzierung. Der Anteil des Erwartungsschadens, der bis 2050 aufgrund von Anpassungsmassnahmen reduziert werden wird, ist also unsicher. Da die grössten Schäden auch weiterhin im Alpenraum zu erwarten sind, gehen wir davon aus, dass die Reduktion des Erwartungsschadens durch Anpassungsmassnahmen im Mittelland und im Jura prozentual niedriger ausfällt als im Schweizer Durchschnitt. Wir nehmen an, dass die Reduktion des Erwartungsschadens im relevanten Gebiet 45% beträgt, bei einer Bandbreite von 30 bis 60%. Tabelle 6-15 berücksichtigt diese Bandbreite an Anpassungsanstrengungen im Hinblick auf den zusätzlichen Erwartungsschaden im Jahr 2050. Für die mittleren Annahmen (45% Anpassung, 0.9% jährliches Wachstum, Extrapolationsfaktor 1.5) beträgt der durch die Klimaänderung ausgelöste zusätzliche Hochwassererwartungsschaden knapp 26 Mio. CHF/Jahr. Die Bandbreite der Ergebnisse erstreckt sich von 13 bis 71 Mio. CHF/Jahr.

Tabelle 6-15: Zusätzlicher Hochwassererwartungsschaden für 2050 (Mio. CHF von 2005, nach Anpassungsmassnahmen)

<i>Jährl. Wachstum</i>	0.9%			0.5%			2.0%		
Extrapolationsfaktor	1.50	1.25	2.00	1.50	1.25	2.00	1.50	1.25	2.00
45% Anpassung	25.63	21.44	41.75	21.36	17.86	34.80	34.18	28.58	55.67
60% Anpassung	18.64	15.59	30.37	15.54	12.99	25.31	24.86	20.79	40.49
30% Anpassung	32.62	27.28	53.14	27.19	22.74	44.29	43.50	36.38	70.86

Tabelle 6-16 bezieht die Ergebnisse aus Tabelle 6-15 auf die Wirtschaftsleistung des Jahres 2050. Die Ergebnisse liegen in einem Bereich zwischen 0.0023 und 0.0064 % des BIP.

Tabelle 6-16: Zusätzlicher Hochwassererwartungsschaden für 2050 (in % des BIP)

<i>Extrapolationsfaktor</i>	1.50	1.25	2.00
45% Anpassung	0.0038	0.0031	0.0050
60% Anpassung	0.0027	0.0023	0.0036
30% Anpassung	0.0048	0.0040	0.0064

Murgänge

Bei den in der Tabelle 6-15 ausgewiesenen Ergebnissen wurde ein wichtiger, wenn auch quantitativ noch wenig untersuchter Aspekt ausser Acht gelassen, nämlich die zusätzlichen Schäden, die – aufgrund mächtigerer Auftauschichten in Permafrostgebieten – als Folge grösserer Murgänge und zusätzlichem Geschiebe entstehen können.

Bei den Murgängen ist die Zuordnung zur Permafrostproblematik schwierig. Viele Murgänge entstehen nicht in Permafrostgebieten oder entstehen jedenfalls unabhängig von den dortigen klimawandelbedingten Entwicklungen. Für jene Murgänge, die in Permafrostgebieten beginnen gilt, dass mächtigere Auftauschichten zwar nicht unbedingt zu mehr Ereignissen führen, jedoch die Gefahr wächst, dass manche Ereignisse deutlich mehr Material mitführen. Messungen zeigen, dass mancherorts die Auftauschichten aufgrund steigender Temperaturen bereits dicker werden, allerdings gilt das längst nicht überall. All diese Faktoren machen es schwer, die Grössenordnung des Problems abzuschätzen. Nachfolgend wird ein Versuch einer Abschätzung unternommen – allerdings sind die **Einschätzungen sehr spekulativ**.

Aus Daten des WSL lassen sich die Schäden, welche in der Schweiz durch Murgänge entstehen, aggregieren, wobei das Ergebnis aufgrund von Abgrenzungsproblemen nur als grobe Schätzung betrachtet werden kann. Von 1995 bis 2004 (wir haben das aussergewöhnliche

Jahr 2005 ausgespart) sind Schäden von 200 Mio. CHF entstanden, also durchschnittlich von 20 Mio. CHF pro Jahr. Unklar ist dabei vor allem, für welchen Teil dieser Summe die Permafrostproblematik überhaupt relevant ist.

Um die quantitative Bedeutung des Problems einigermaßen zu erfassen, haben wir nach einer telefonischen Befragung von Charly Wuilloud von der Sektion Naturgefahren des Kantons Wallis folgende grobe Rechnung aufgestellt, die nicht mehr als eine erste Abschätzung sein kann, welche quantitative Grössenordnung das Problem erreichen könnte. Im Wallis erreichen Murgänge jährlich ein Gesamtvolumen von ca. 70 000 m³. Durch grobe Extrapolation kann man für die Gesamtschweiz ein Volumen von ca. 300 000 m³ annehmen. Die Kosten für Transport und Lagerung des Materials liegen bei ungefähr 20 CHF pro m³.

Der Klimaeinfluss lässt sich nur sehr grob abschätzen. Kein Klimaeinfluss würde bedeuten, dass das heutige Volumen für das Jahr 2050 mit dem Faktor 1 zu multiplizieren wäre. Ein Faktor kleiner 1 ist aufgrund des Temperaturanstiegs unplausibel. Als obere Grenze für die Bandbreite des Klimaänderungsfaktors setzen wir 3. Eine Verdreifachung des Volumens wäre eine kaum zu erwartende massive Zunahme, vor allem im Hinblick darauf, dass viele Murgänge unabhängig von Entwicklungen in Permafrostgebieten entstehen. Diese sehr weit gewählte Bandbreite spiegelt die grosse Unsicherheit wieder, die aufgrund des begrenzten Wissensstandes in diesem Bereich besteht. Die Obergrenze der im folgenden berechneten Kosten sollte deshalb nicht als Schadenpotenzial interpretiert werden. Bei anderen Extremereignissen hat sich gezeigt, dass eine genauere Analyse häufig die relevanten Schäden besser eingrenzen kann, so dass der obere Bereich früher geschätzter Bandbreiten ausgeschlossen werden kann. Letzteres ist jedoch zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Unter Berücksichtigung der genannten Bandbreite für den Klimaänderungsfaktor betragen die Kosten für Transport und Lagerung des zusätzlichen Materials im Jahr 2050 zwischen 0 und 12 Mio. CHF.

Noch schwieriger zu beziffern ist, um wie viel die Schäden an Gebäuden und Infrastruktur zunehmen könnten. Hinzu kommt die sehr spekulative Möglichkeit zusätzlicher Personenschäden. In Abwesenheit besserer Informationen nehmen wir an, dass die Schäden linear mit dem Volumen des Materials zunehmen. Zu berücksichtigen ist, dass dort, wo das grösste Schadenpotenzial besteht, Anpassungsmassnahmen zu erwarten sind. Wir gehen deshalb davon aus, dass das Schadenausmass bis zum Jahr 2050 durch Anpassungsmassnahmen um 50% im Vergleich zu einer Situation ohne Anpassung reduziert wird. Die Kosten dieser Anpassungsmassnahmen sind in den oben genannten 20 CHF pro m³ enthalten. Die Tabelle 6-17 zeigt die sehr grobe und spekulative Berechnung der Kosten des Klimawandels im Bereich Murgänge.

Als Ursache für vermehrte Murgänge wurde in den obigen Betrachtungen die Permafrostproblematik unterstellt. Inwieweit häufigere Starkniederschläge zu mehr Murgängen führt, kann heute noch nicht beurteilt werden.

Tabelle 6-17: Grobe Schätzung der zusätzlichen Kosten durch Murgänge (Mio. CHF von 2005)

	2005	Referenz			2050					
Klimaänderungsfaktor		1			1			3		
Jährliches Wachstum		0.9%	0.5%	2.0%	0.9%	0.5%	2.0%	0.9%	0.5%	2.0%
Transport und Lagerung (300 000 m ³ à 20 CHF) bzw. Anpassungskosten	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	18.0	18.0	18.0
Schäden an Infrastruktur und Gebäuden (ohne Anpassung)	20.0	29.9	25.0	48.8	29.9	25.0	48.8	89.8	75.1	146.3
Schäden an Infrastruktur und Gebäuden (mit 50% Anpassung)	n.a.	15.0	12.5	24.4	15.0	12.5	24.4	44.9	37.5	73.1
Summe der Kosten (2050 mit Anpassung)	26.0	21.0	18.5	30.4	21.0	18.5	30.4	62.9	55.5	91.1
Δ zur Referenz	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	0.0	0.0	41.9	37.0	60.8

Geschiebe

Bei Hochwasser ist vor allem im Gebirgsraum der Geschiebetransport für die grossen Schäden verantwortlich. Weiter kann vermehrtes Geschiebeaukommen die Verlandung von Speicherseen verstärken und beschleunigen. Die klimabedingte Erhöhung der Auftauschichten in Permafrostgebieten wird zu vermehrtem Geschiebe führen. Allerdings besteht bei vielen Gewässern ein bis zu Jahrhunderten gehender time-lag bis zusätzliches Material schadenrelevant wird. Eine detaillierte Analyse wäre notwendig um die Relevanz des Problems für verschiedene Gewässer für den hier untersuchten Zeithorizont feststellen zu können. Nach Auskunft von Prof. Hans Kienholz von der Universität Bern fehlen entsprechende Studien noch. Christoph Hegg vom WSL äusserte die Einschätzung, dass das Problem des Geschiebes aufgrund der time-lags für den hier untersuchten Zeithorizont vermutlich weniger relevant ist als das der Murgänge. Auf der Basis der insgesamt zu dieser Frage wenig ergiebigen Grundlagen weisen wir dem Problem „zusätzliches Geschiebe“ zwei Drittel der bei den Murgängen veranschlagten Schadenbandbreite zu (vgl. Tabelle 6-18). Die **Einschätzungen** sind also – wie schon bei den Murgängen – **sehr spekulativ**.

Tabelle 6-18: Bandbreite der Ergebnisse für Hochwasser und Permafrost (für 2050, in % des BIP)

	Minimum	Maximum
Hochwasser/Überschwemmungen (ohne zusätzliches Geschiebe)	0.0023	0.0064
Geschiebe	0.0000	0.0044
Murgänge	0.0000	0.0066
Summe	0.0023	0.0174

Vergleich mit den Ergebnissen der NFP31-Studie und Würdigung der Resultate

In der NFP31-Studie wurde auf der Basis einer pauschalen Annahme einer Zunahme der Hochwasserschäden von 30% bis 100% ein zusätzlicher Erwartungsschaden von jährlich 135 Mio. bis 450 Mio. CHF geschätzt. Die hier vorgelegten Ergebnisse liegen mit 13 Mio. bis 71 Mio. zusätzlichen reinen Hochwasserschäden deutlich darunter. Dies liegt vor allem daran, dass nach heutigem Stand des Wissens der Klimawandel vorwiegend eine Zunahme der Winterhochwasser im Jura und nördlichen Mittelland auslösen wird, während der insgesamt deutlich schadenintensivere alpine Bereich von zunehmenden Abflüssen nicht wesentlich betroffen sein wird. Hinzu kommt die Berücksichtigung geeigneter Anpassungsmassnahmen, welche die Folgen von Hochwasserereignissen wesentlich reduzieren können. Entscheidend wird sein, dass die sinnvollen Massnahmen in diesem Bereich auch tatsächlich umgesetzt werden. Weiter ist zu erwähnen, dass die sowieso nötigen Schutzmassnahmen nicht der Klimaänderung zugeschrieben werden und die klimabedingten höheren Unterhaltskosten für die Schutzbauten nicht in die Berechnungen eingeflossen sind.

Bezieht man Murgänge und Geschiebe mit ein, so gelangt man mit dem oberen Rand der von uns geschätzten Bandbreite in den unteren Bereich der in der NFP31-Studie geschätzten zusätzlichen Schäden. Der grosse potenzielle Einfluss dieser Ereignisse auf die Schäden rührt jedoch nicht daher, dass man wüsste, dass aufgrund des Auftauens von Permafrostgebieten grosse Schäden entstehen werden, sondern gerade daher, dass die Schätzungen in diesem Bereich sehr unsicher sind und daher die Möglichkeit grosser Schäden in Betracht gezogen werden muss. Es ist sehr gut denkbar, dass eine vertiefte Analyse der zugrunde liegenden Zusammenhänge – die unbedingt notwendig ist – den oberen Rand unserer groben Schätzungen als unzutreffend entlarvt, ähnlich wie unsere noch immer recht rudimentäre Analyse der Hochwasserschäden gezeigt hat, dass der obere Rand der groben Schätzung in der NFP31-Studie nach heutiger Kenntnis nicht aufrecht zu halten ist.

Weiter ist zu erwähnen, dass die Variabilität der Ereignisse zunehmen wird. Dies wird bei den Versicherungen zu höheren Kosten führen, da entweder Kapital vorrätig gehalten oder Rückversicherungen gekauft werden müssen. Die Versicherungsprämien werden also steigen. Dieser „Variabilitäts-Effekt“ ist hier nicht berücksichtigt und wäre noch vertieft zu analysieren.

6.5 Energie

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie betrachtet drei Schaden- und Nutzenbereiche, die wir zusammenfassend nachfolgend kurz darstellen (Seiten 120ff):

- **Weniger Elektrizitätsproduktion in Speicher- und Laufkraftwerken**

Ausgangslage der NFP31-Studie ist ein erhöhtes Wasservolumen von ungefähr 10%, das vor allem im Winter anfällt. Dies wird zu einer leichten Mehrproduktion in Laufwasserkraftwerken im Winter führen. Bei den Speicherkraftwerken wird davon ausgegangen, dass die Produktion leicht abnehmen wird, da die Speicherfunktion der reduzierten Schneedecke und der Gletscher abnimmt. Per Saldo ergeben sich auf die Jahresproduktion gerechnet keine grösseren Produktionsveränderungen.

- **Mehrverbrauch Kühlen / Klimatisieren**

Für das Kühlen wird ein Zusatzaufwand von 290 Mio. CHF gerechnet. Wobei gemäss NFP31-Studie vor allem der Mehrbedarf bei den Autos (+150 Mio. CHF) zu Buche schlägt. Die restlichen Mehrausgaben von 140 Mio. CHF werden für Elektrizität zum Kühlen von Wohn-, Büro- und Industriegebäude benötigt.

- **Minderverbrauch Heizen**

Bei einer angenommenen Erwärmung von +2°C ergibt sich gemäss NFP31-Studie ein wertmässiger Minderverbrauch für Brenn- und Treibstoffe sowie Elektrizität von 320 Mio. CHF.

Insgesamt stehen im Energiebereich gemäss NFP31-Studie den Mehrausgaben für das Kühlen von 290 Mio. CHF Minderausgaben für das Heizen von 320 Mio. CHF gegenüber – per Saldo also ein kleiner Klimanutzen von 30 Mio. CHF.

b) Resultate weiterer Studien

Die meisten internationalen Studien zu den Klimaschadenskosten berechnen Mehr- und Minderkosten im Bereich der Energie. Für die Schweiz haben sich die aktuellen Energieperspektiven detailliert dieser Thematik angenommen. Die folgende Schadenskostenschätzung beruht auf den in den aktuellen Energieperspektiven gemachten Arbeiten.

c) Schadenskosten für die Schweiz

Wie bereits oben erwähnt, bieten die aktuellen Energieperspektiven einen aktuellen und sehr guten Überblick zu den Veränderungen im Energiebereich aufgrund wärmerer Temperaturen. Die nachfolgenden Ausführungen beruhen denn auch auf den Resultaten der Energieperspektiven, wobei teilweise eigene ergänzende Annahmen getroffen werden mussten.

Die schleichende Klimaänderung hat sowohl Auswirkungen auf das Elektrizitätsangebot (Rückgang der Stromproduktion der Wasserkraftwerke) als auch auf die Elektrizitätsnachfrage (höherer Stromverbrauch für Klimatisierung). Die allmählich steigenden Temperaturen

führen zu einem geringeren Heizwärmebedarf. Wir analysieren also folgende Effekte im Energiebereich:

- Auswirkungen auf das Elektrizitätsangebot
- Auswirkungen der vermehrten Klimatisierung
- Auswirkungen des verringerten Heizwärmebedarfs

Im Folgenden nicht monetarisiert werden die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Versorgungssicherheit mit Elektrizität.³² Die Entwicklung der Versorgungssicherheit ist wesentlich geprägt durch die Wahl der noch zuzubauenden Kraftwerkskapazitäten (Grund-, Mittel- oder Spitzenlast). Allfällige Mehrkosten, die sich aus Temperaturextremen ergeben, können im Moment noch nicht abgeschätzt werden.

Ebenfalls nicht monetarisiert werden die Stromproduktionseinbussen bei thermischen Kraftwerken. So führte bspw. der Hitzesommer 2003 bei den bestehenden Atomkraftwerken zu einer 4% geringeren Jahresproduktion. Wie gross die Einbussen in Zukunft sein werden, hängt von der Dimensionierung der Kühlung ab, die sich bei vermehrt zu erwartenden Hitzewelle anpassen wird.

Auswirkungen auf Elektrizitätsangebot

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen im Wesentlichen auf Arbeiten, welche im Rahmen der aktuellen Schweizer Energieperspektiven geleistet wurden.³³ Der Bericht des BFE (Piot (2006), S. 8) sieht keine wesentlichen, zusätzlichen Produktionseinschränkungen bei thermischen Kraftwerken aufgrund des Klimawandels. Der Klimawandel wird hingegen über die geringeren Niederschlagsmengen die Produktion in Wasserkraftwerken negativ beeinflussen – und zwar in einem recht beträchtlichen Ausmass, wie die nachfolgenden Ausführungen aufzeigen werden. Nachfolgend wollen wir aufzeigen, welche Konsequenzen der Klimawandel für die Stromproduktion der Schweizer Wasserkraftwerke hat, dies für die Zeitpunkte 2030, 2050, 2070 und 2100. Wir gehen dabei schrittweise wie folgt vor:

- **Schritt 1 - Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Niederschlags- und Abflussmenge:** Das Laboratoire Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) hat im Auftrag des BFE eine Studie durchgeführt, die die Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserabfluss aus dem Alpenraum für die Zeitperiode 2020-2049 und 2070-2100 untersucht.³⁴ Die in der HYDRAM-Studie verwendeten Klimaszenarien stammen alle aus dem EU-Forschungsprojekt PRUDENCE und basieren somit auf den auch von Frei (2004) verwendeten Grundlagen. Eine zusammen-

³² Ausführungen zu dieser Problematik sind zu finden in Kirchner A., Piot M., Rits V. (2007), Kälte- und Hitzewellen, in: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. 3. Exkurs. Bern.

³³ Piot M. (2007), Einfluss der Klimaerwärmung auf das Energiesystem, in: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. 3. Exkurs. Bern.

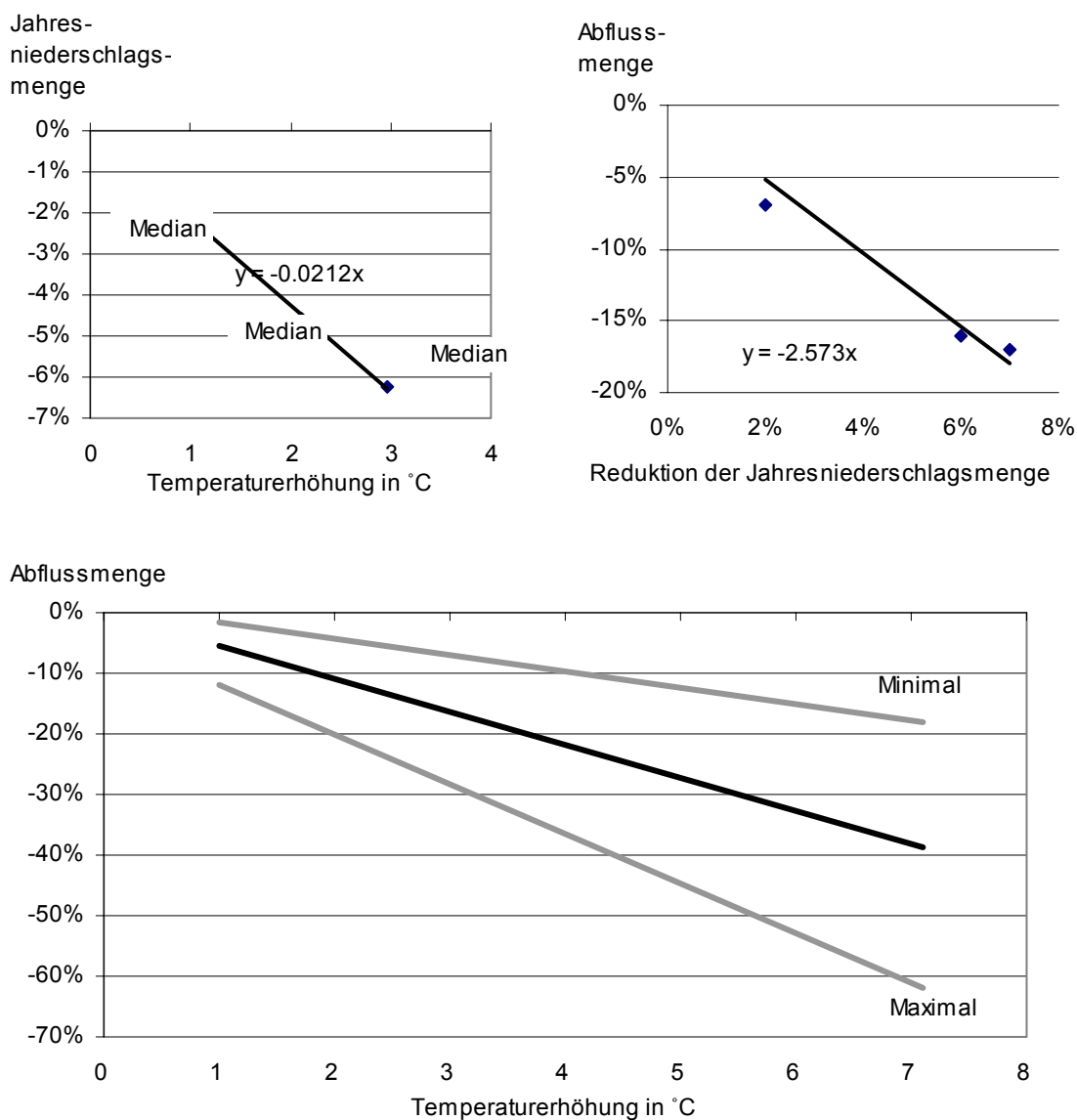
³⁴ Laboratoire Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) der EPFL (2005).

fassende Erklärung des von HYDRAM verwendeten Modellansatzes und einen Überblick über die ausgewählten Testgebiete bietet Piot (2006).

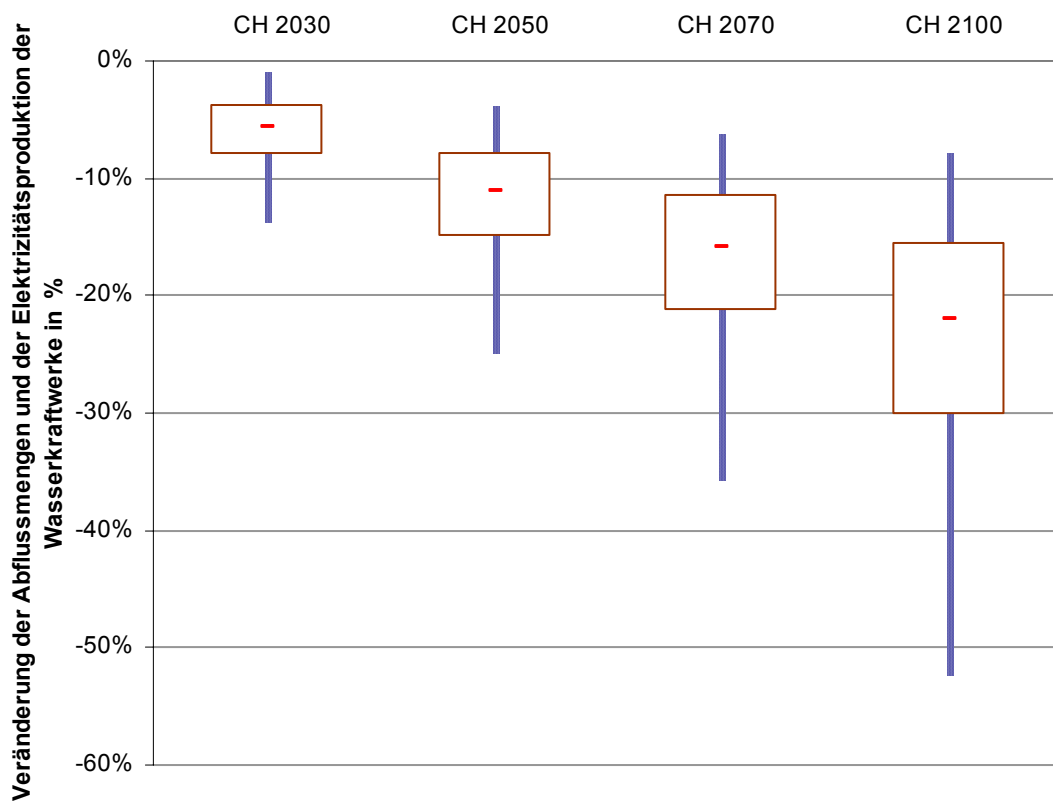
Eine direkte, klare Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und Niederschlagsmengen gibt es nicht, da Gletscherschmelze und Verdunstung eine wesentliche Rolle spielen können. Für unsere Abschätzungen sind wir aber darauf angewiesen, dass ein solcher Zusammenhang ad-hoc konstruiert werden muss, damit ein Vergleich mit anderen Schadensbereichen möglich ist und eine Simulation, wie wir sie in den anderen Schadensbereichen auch durchgeführt haben, gemacht werden kann. Wir gehen dabei pragmatisch wie folgt vor (vgl. Grafik 6-16): a) aus den Medianen der Klimaszenarien von Frei (2004) konstruieren wir eine lineare Abhängigkeit zwischen Temperaturerhöhung und Jahresniederschlagsmenge, b) mit Hilfe der Mediane der Szenarien +1°C, B2 und A2 der HYDRAM-Studie wird ein linearer Zusammenhang zwischen der Veränderung der Jahresniederschlagsmenge und der Abflussmenge konstruiert, c) auf Basis der grob um die Temperatur bereinigten Max- und Min-Werte der HYDRAM-Studie wurde eine Bandbreite bestimmt, welche die maximalen und minimalen Veränderungen der Abflussmengen als Reaktion auf die Temperaturerhöhung festlegt.³⁵ Die Bandbreite widerspiegelt in etwa die in der HYDRAM-Studie ausgewiesenen Unsicherheiten.

- **Schritt 2 - Einfluss der Abflussmengen auf die Stromproduktion:** Wir übernehmen hier die Annahmen der Energieperspektiven, dass die Veränderung der Stromproduktion der Schweizer Wasserkraftwerke der Veränderung der Abflussmengen entspricht. Die Grafik 6-17 zeigt die Veränderung der Abflussmengen bzw. der Elektrizitätsproduktion der Wasserkraftwerke in % im Vergleich zu heute für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100.

³⁵ Die Bandbreite wurde für die Berechnung wie folgt festgelegt: Fixe Unsicherheitsbandbreite der Abflussmenge: +/-2.5%, variable Unsicherheitsbandbreite in Abhängigkeit des errechneten Werts aus der Beziehung Temperaturerhöhung -> Jahresniederschlagsmenge -> Abflussmenge: +/-50%.

Grafik 6-16: Einfluss der Temperaturerhöhung auf Niederschlags- und Abflussmengen

Grafik 6-17: Veränderung der Abflussmengen und der Elektrizitätsproduktion der Wasserkraftwerke in % (im Vergleich zu heute)



Die Grafik 6-17 zeigt deutlich, dass der Klimawandel zu einem recht massiven Rückgang der Elektrizitätsproduktion aus Wasserkraftwerken führen kann. Im Jahre 2050 kann im Mittel mit einem Rückgang von -11% (Median) gerechnet werden. Es können aber auch nur -4% oder gar -24% (95%-Vertrauensintervall) sein.

Weiter ist festzustellen, dass die Stromproduktion aus Wasserkraftwerken bis 2100 noch weiter zurückgehen wird. Für das Jahr 2100 kann im Mittel eine Minderproduktion von -22% berechnet werden. Die Unsicherheiten sind hier aber noch bedeutend grösser, sie reichen von -8% bis über -50%.

Heute produzieren die Schweizer Wasserkraftwerke rund 35 TWh Strom. Wie gross die Stromproduktion in Zukunft sein wird, hängt vom künftigen Ausbau und den Restwasserbestimmungen ab. Der künftige Ausbau erhöht die Produktion, strenger Restwasserbestimmungen schmälern die Stromproduktion. Auf Grund der Studie Electrowatt-Ekono (2004)³⁶ haben wir die künftige Stromproduktion aus Wasserkraftwerken mit folgenden Bandbreiten festgelegt:

- 2030: von 34.6 bis 41.4 TWh

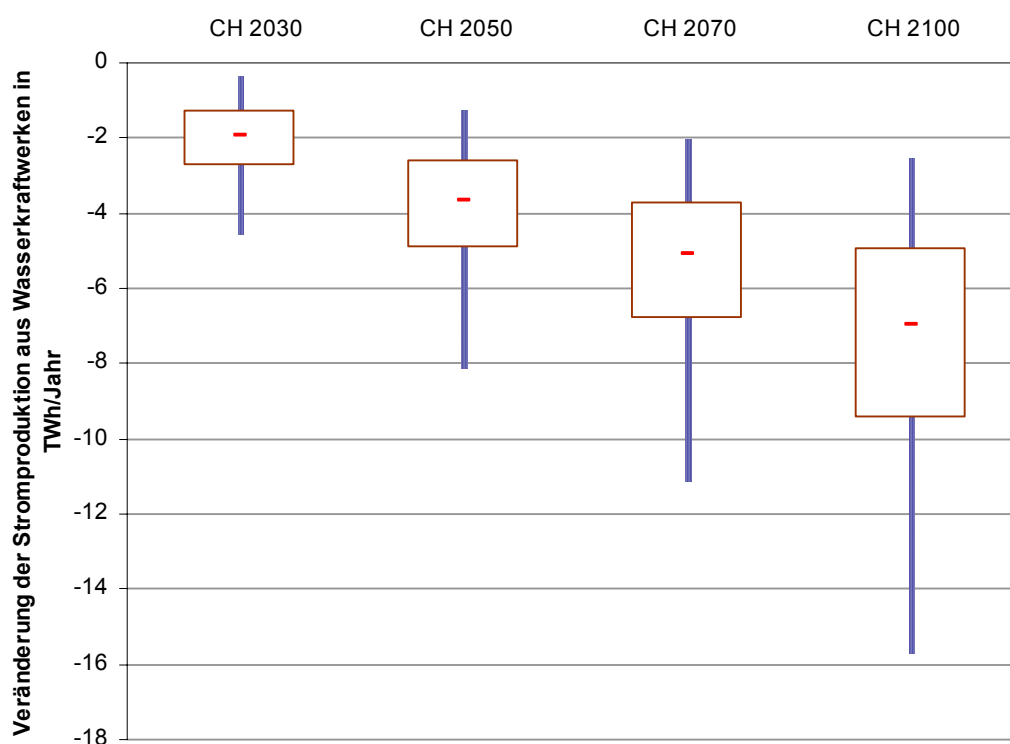
³⁶ Electrowatt-Ekono (2004), Ausbaupotenzial der Wasserkraft. Studie im Auftrag des BFE.

- 2050: von 33.9 bis 40.1 TWh
- 2070, 2100: von 32.1 bis 39.4 TWh³⁷

Auf Basis dieser künftig angenommenen Stromproduktion und dem Rückgang der Stromproduktion aufgrund geringerer Abflussmengen kann der Verlust an Stromproduktion in den Schweizer Wasserkraftwerken bestimmt werden (vgl. Grafik 6-18).

Wir berechnen für das Jahr 2030 ein Rückgang der Stromproduktion aus Wasserkraftwerken von im Mittel (Median) knapp -2 TWh/Jahr und bis 2050 von -3.6 TWh/Jahr. Bis 2100 sinkt die Stromproduktion gar um rund -7 TWh/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von -2.5 bis knapp -16 TWh/Jahr (95%-Vertrauensintervall).

Grafik 6-18: Veränderung der Stromproduktion aus Wasserkraftwerken in TWh/Jahr



- **Schritt 3 – Mehr- und Minderkosten aufgrund der rückläufigen Stromproduktion aus Wasserkraftwerken:** Die Mehr- und Minderkosten werden auf Basis der „Ersatzkosten“ für die rückläufige Stromproduktion bestimmt. Diese Ersatzkosten sind abhängig von der eingesetzten künftigen Stromproduktionstechnologie, der gewählten Energiepolitik und der technologischen Entwicklung. Die aktuellen Energieperspektiven zeigen, dass die Ersatzkosten je nach gewähltem Szenario sehr unterschiedlich sein können. Die Bandbreite

³⁷ Es ist wahrscheinlich, dass das Potenzial noch geringer ist, da die geringeren Abflussmengen auch zu relativ erhöhten Restwassermengen führt. Dies wurde mangels Grundlagendaten hier nicht berücksichtigt.

liegt bei 5.7 bis 15.3 Rp./kWh.³⁸ Dazu addieren wir die in der Schweiz anfallenden externen Kosten für die Stromproduktion mit einer Bandbreite von 0.3 bis 1.1 Rp./kWh.³⁹ Insgesamt bewerten wir also die Mehr- und Minderkosten der Stromproduktionseinbussen bei der Wasserkraft mit 6.0 bis 16.4 Rp./kWh.

Die Grafik 6-19 zeigt die Mehrkosten (mit negativem Vorzeichen) aufgrund der Stromproduktionseinbussen in Mio. CHF/Jahr. Wir berechnen für das Jahr 2030 klimabedingte Mehrkosten von im Mittel (Median) gut 200 Mio. CHF/Jahr und bis 2050 von knapp 400 Mio. CHF/Jahr. Bis 2100 steigen die Mehrkosten gar auf 750 Mio. CHF/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von -250 bis knapp -2000 Mio. CHF/Jahr (95%-Vertrauensintervall).

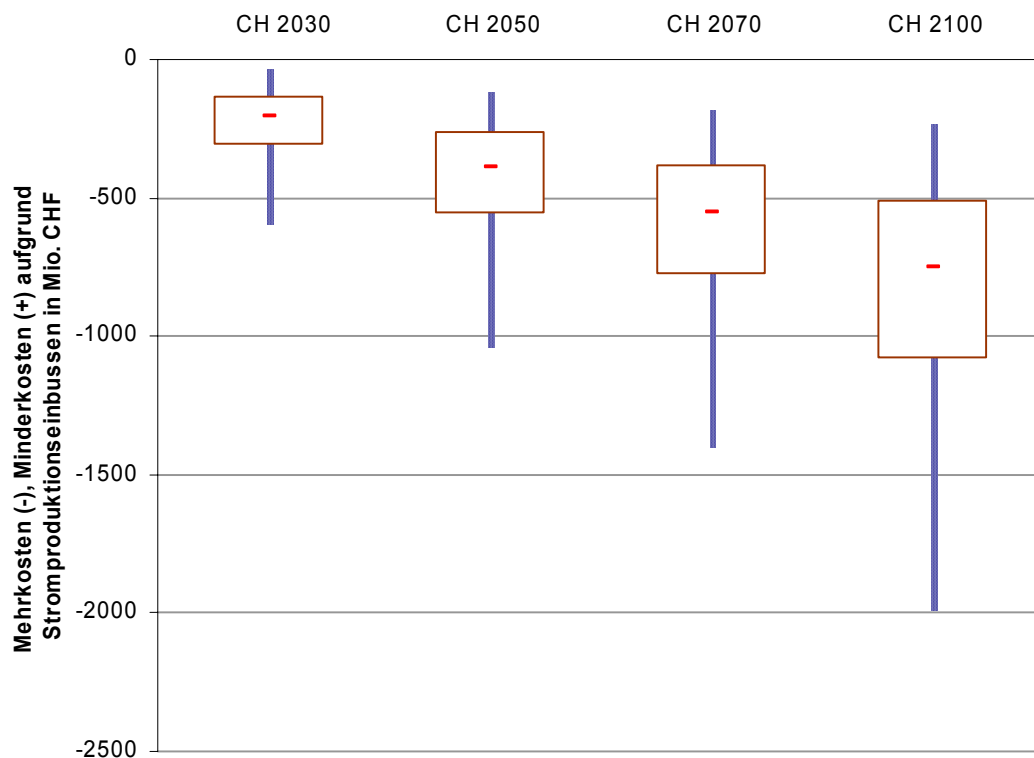
Setzt man die Mehrkosten in Beziehung zum BIP⁴⁰, so steigen die Mehrkosten-BIP-Anteile ab 2050 nicht mehr wesentlich, aber die Bandbreite der Unsicherheit nimmt weiter zu (vgl. Grafik 6-20). Für die Jahre ab 2050 muss aufgrund der rückläufigen Stromproduktion in Wasserkraftwerken mit klimabedingten Mehrkosten von rund 0.06 BIP% gerechnet werden. Die Mehrkosten bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von 0.02 BIP% bis 0.22 BIP% (95%-Vertrauensintervall).

³⁸ Vgl. Prognos (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 5. Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebots. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Entwurf 23.3.2007. Basel.

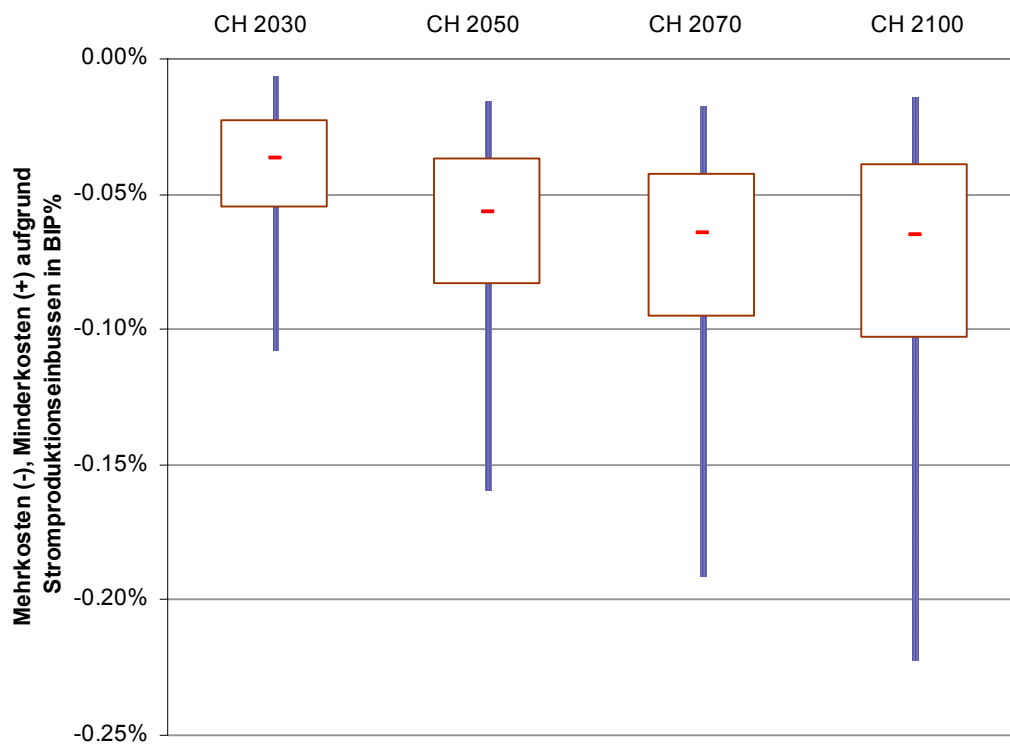
³⁹ Vgl. Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Seite 139. Die Kernkraftrisiken sind hier nicht mitberücksichtigt.

⁴⁰ Die BIP-Wachstumsraten wurden im Kapitel 4.2 als Bandbreite von 0.5% bis 2.0%/Jahr – mit einem Median von 0.9%/Jahr - gewählt.

Grafik 6-19: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) aufgrund der Stromproduktionseinbussen bei den Wasserkraftwerken in Mio. CHF/Jahr



Grafik 6-20: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) aufgrund der Stromproduktionseinbussen bei den Wasserkraftwerken in BIP%

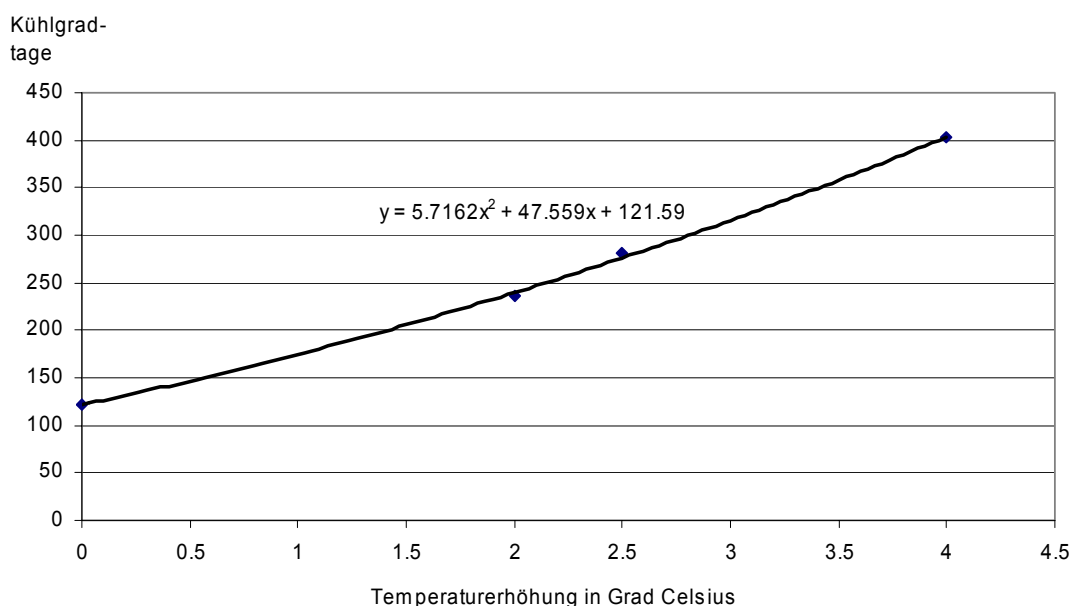


Auswirkungen der vermehrten Klimatisierung

Die Klimaänderung wird eine Zunahme der Sommer- bzw. Hitzetage bringen. Damit steigen die sogenannten Kühlgradtage⁴¹ und der Kühlenergiebedarf. Die Energieperspektiven 2035 haben den Einfluss der höheren Temperaturen auf den Kühlenergiebedarf erstmals quantifiziert. Da wir in der vorliegenden Studie aufgrund des längeren Zeithorizonts mit wesentlich höheren Temperaturanstiegen rechnen müssen, haben wir die Berechnungen der Sektormodelle (Haushalte, Dienstleistung und Landwirtschaft, Industrie) mit einigen vereinfachenden Annahmen nachvollzogen und für die Jahre nach 2035 extrapoliert.⁴² Nachfolgend zeigen wir auf, wie wir die Mehrkosten für die Klimatisierung bestimmt haben.

- **Schritt 1 – Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Kühlgradtage:** Die steigenden Temperaturen erhöhen die Kühlradtage und damit den Energiebedarf für die Klimatisierung. Die heutigen Kühlgradtage belaufen sich auf 122. Aus den für die Schweiz bestimmten Daten für eine Temperaturerhöhung von 2 °C und 2.5 °C⁴³ und dem Verlauf gemäss Henderson⁴⁴ wurde eine Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und Kühlgradtagen konstruiert (vgl. Grafik 6-21).

Grafik 6-21: Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Kühlgradtage



⁴¹ Kühlgradtage: Differenz zwischen der mittleren Tagesaussentemperatur und der Referenztemperatur (18.3 °C), summiert über alle Kalendertage mit T > 18.3 °C.

⁴² Die Auswirkungen der Temperaturerhöhungen sind im Sektor Verkehr vergleichsweise gering (vgl. Energieperspektiven 2035) und wurden hier nicht berücksichtigt.

⁴³ Gemäss Berechnungen von Peter Hofer, Prognos, für die Energieperspektiven 2035.

⁴⁴ CEPE (2007), Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 – 2035. Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Seite 39.

Auf Basis dieser Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und Kühlgradtagen wurde getrennt für die drei Sektoren Haushalte, Dienstleistungen/Landwirtschaft und Industrie der Klimatisierungsbedarf bestimmt.

- **Schritt 2 – Klimatisierung im Haushaltbereich:** Da es für die Schweiz keine belastbaren Informationen zum Elektrizitätsverbrauch von Klimaanlage im Wohnbereich gibt, ist man auf grobe Schätzungen und Plausibilitätsüberlegungen angewiesen. Wir folgen den Überlegungen der im Rahmen der Energieperspektiven 2035 erarbeiteten Sensitivitätsberechnungen „Klima wärmer“⁴⁵, mussten aber diverse zusätzliche Annahmen treffen, die in der Tabelle 6-19 zusammengefasst sind:
 - Das Bevölkerungswachstum wurde den neuen Bevölkerungsszenarien des BFS⁴⁶ angepasst (vgl. dazu auch die Annahmen gemäss Kapitel 4.2).
 - Die Energiebezugsfläche (EBF) gemäss Energieperspektiven 2035 wurde diesen neuen Bevölkerungsentwicklung angepasst. Für die Jahre nach 2030 wurde nur noch ein massvoller Zuwachs der EBF/Kopf unterstellt.
 - Für die Leistungsziffer der Klimatisierung wurde für die Jahre nach 2030 eine weitere Verbesserung unterstellt (technologische Verbesserung der Klimageräte).
 - Weiter wurde ein Technologiefaktor eingeführt, der andere – bspw. verbesserte Fens-tertechnologie (strahlungsabweisende Beschichtung) - technologische Verbesserungen zur Verminderung des Kühlleistungsbedarfs berücksichtigt.
 - Die Kühlleistung nimmt mit den Kühlgradtagen zu. Der spezifische Kühlleistungs-verbrauch pro m² ergibt sich aus dem Quotienten des Kühlleistungsbedarfs und der Leistungsziffer unter Einrechnung des Technologiefaktors.
 - Der Anteil der klimatisierten Wohnungen und der klimat. Fläche/Wohnung ist abhängig von der Temperaturerhöhung (Grafik 6-22 zeigt die unterstellten Beziehungen).
 - Die spezifischen Ressourcenkosten (Rp./kWh) zur Berechnung der Mehrkosten für die Klimatisierung haben wir wie folgt festgelegt:
 - Kosten für die Stromproduktion (abhängig von eingesetzter Stromproduktionstechnologie, Energiepolitik, technologischer Entwicklung, usw.): 5.7 bis 15.3 Rp./kWh (vgl. dazu auch die Ausführungen im vorgängigen Abschnitt zu Auswirkungen auf das Elektrizitätsangebot)
 - Externe Kosten für die Stromproduktion: 0.3 bis 1.1 Rp./kWh⁴⁷
 - Kapitalkosten und betrieblicher Unterhalt Klimatisierung: 2 bis 4 Rp./kWh (sehr grobe Schätzung für Kleinklimageräte).⁴⁸
 - Insgesamt ergeben sich somit Ressourcenkosten von 8 bis gut 20 Rp./kWh

⁴⁵ Prognos (2007), Energieverbrauch der privaten Haushalte 1990-2035.

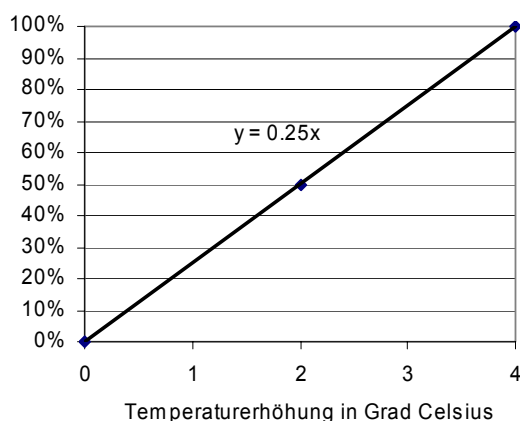
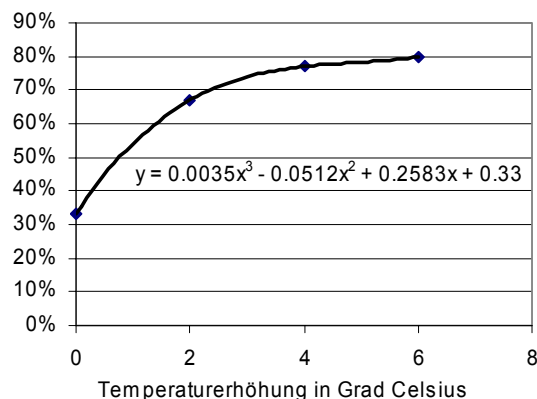
⁴⁶ BFS (2006), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Neuenburg.

⁴⁷ Berücksichtigt sind hier nur die in der Schweiz anfallenden externen Kosten für Gebäude und Gesundheit (exkl. Risikokosten der Kernenergie).

⁴⁸ Allfällige zusätzliche Netzkosten bei der Elektrizitätsverteilung wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 6-19: Kennzahlen zur Berechnung der Klimatisierung für Haushalte

	2005	2030	2050	2070	2100
Bevölkerung [Mio.]	7.5	8.1	8.1	8.1	8.1
EBF [m2/Kopf]	59	73	81	88	96
EBF [Mio. m2]	444	592	658	713	780
Temperaturerhöhung, Median JJA	0	1.4	2.7	3.8	5.3
Kühlgradtage	122	199	292	385	536
Leistungsziffer	2.25	2.9	3.5	3.8	4.0
Technologiefaktor von	1	1	1	1	1
bis	1	0.9	0.8	0.7	0.6
Kühlleistung*Vollbenutzungs-h (kWh/m2)	15.9	25.9	38.0	50.1	69.7
spez. Verbrauch (kWh/m2)	7.1	9.0	10.8	13.2	17.4
Anteil klimatisierte Wohnungen	1%	35%	68%	95%	100%
Anteil klimatisierte Fläche/Wohnung	33%	60%	72%	76%	78%
EBF klimatisiert [Mio. m2]	1	124	321	518	610
Verbrauch [TWh]	0.0	1.1	3.5	6.8	10.6
Ressourcenkosten Min in Rp./kWh	8	8	8	8	8
Ressourcenkosten Max in Rp./kWh	20	20	20	20	20
Ressourcenkosten Min in Mio. CHF	1	89	279	546	851
Ressourcenkosten Max in Mio. CHF	2	228	711	1'392	2'170

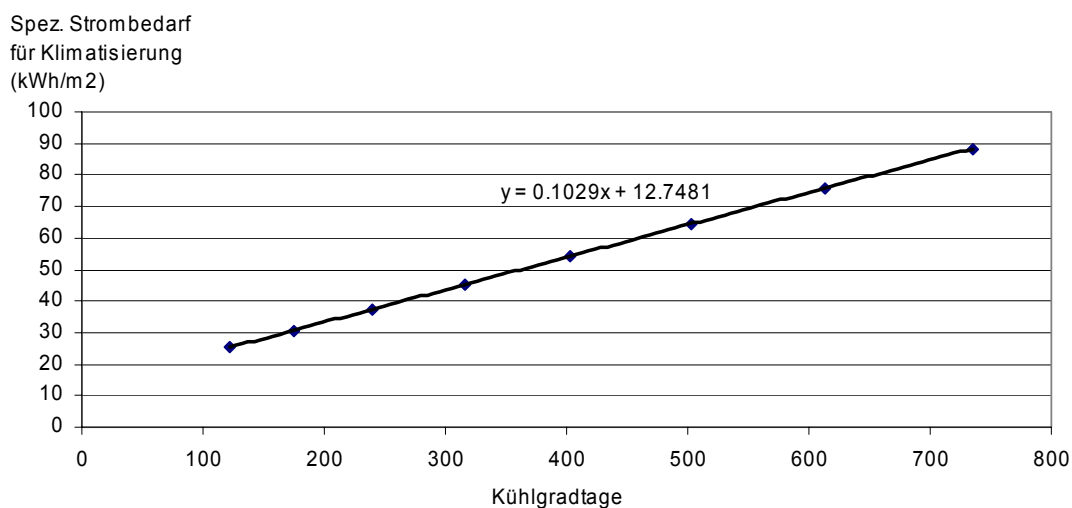
Grafik 6-22: Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Anzahl klimatisierten Wohnungen und auf die klimatisierte Fläche/WohnungAnteil klimatisierter
WohnungenAnteil der klimatisierten
Fläche/Wohnung

- **Schritt 3 – Klimatisierung im Dienstleistungsbereich:** Die Berechnung des Kühlenergiebedarfs im Dienstleistungsbereich folgt den Überlegungen von CEPE (2007), die für die Sensitivitätsrechnung „Klima wärmer“ angestellt wurden. Auch hier mussten wir wieder verschiedenste Annahmen zur weiteren Entwicklung über die Jahre 2035 hinaus treffen, die in der Tabelle 6-20 und der Grafik 6-23 dokumentiert sind.

Tabelle 6-20: Kennzahlen zur Berechnung der Klimatisierung für Dienstleistung/Landwirtschaft

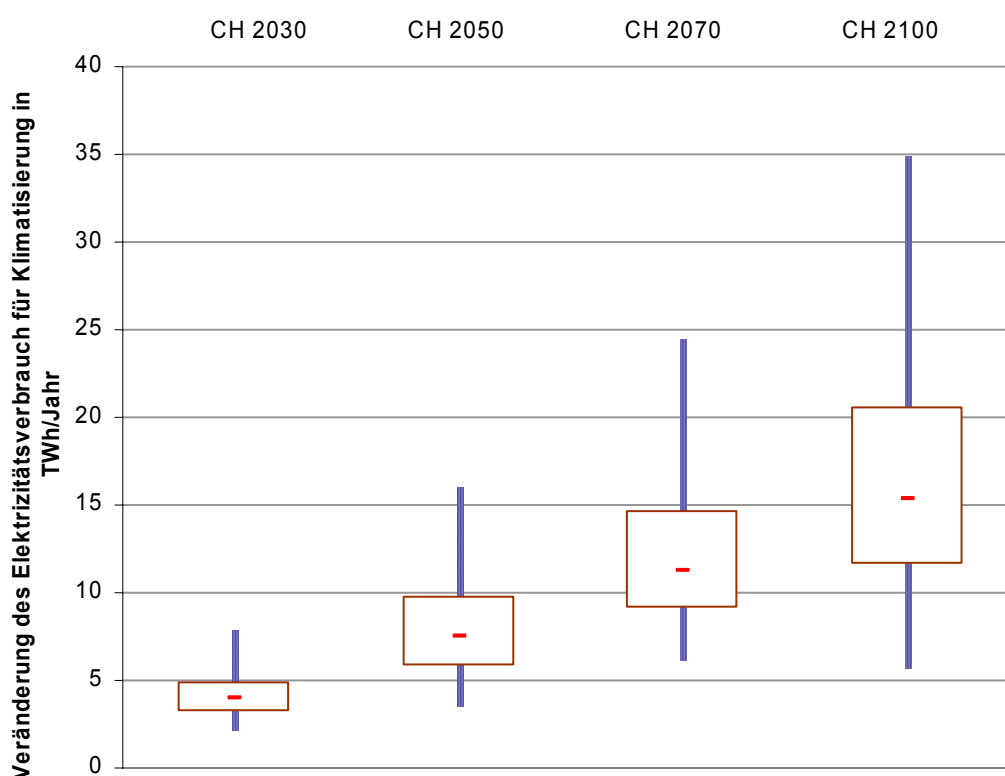
	2005	2030	2050	2070	2100
Vollzeitäquivalent DL+LW [Mio.]	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
EBF [m2/VÄ]	62	75	83	90	99
EBF [Mio. m2]	147	190	206	223	244
Temperaturerhöhung, Median JJA	0	1.4	2.7	3.8	5.3
Kühlgradtage	122	199	292	385	536
spez. Verbrauch (kWh/m2)	25.3	33.3	42.8	52.4	67.9
Anteil EBF vollklimatisiert*)	27%	31%	35%	39%	44%
Anteil EBF zusätzlich vollklimatisiert*)	0%	11%	22%	30%	43%
Total Anteil vollklimatisiert*)	27%	43%	57%	69%	87%
EBF vollklimatisiert*)	40	81	116	154	211
Technologiefaktor von	1	0.9	0.8	0.7	0.6
bis	1	0.8	0.6	0.4	0.2
Verbrauch [TWh]	1.0	2.7	5.0	8.1	14.3
Ressourcenkosten Min in Rp./kWh	8	8	8	8	8
Ressourcenkosten Max in Rp./kWh	20	20	20	20	20
Ressourcenkosten Min in Mio. CHF	80	216	399	644	1'146
Ressourcenkosten Max in Mio. CHF	205	550	1'016	1'642	2'923

*) die teilklimatisierten Flächen wurden anteilmässig in vollklimatisierte umgerechnet.

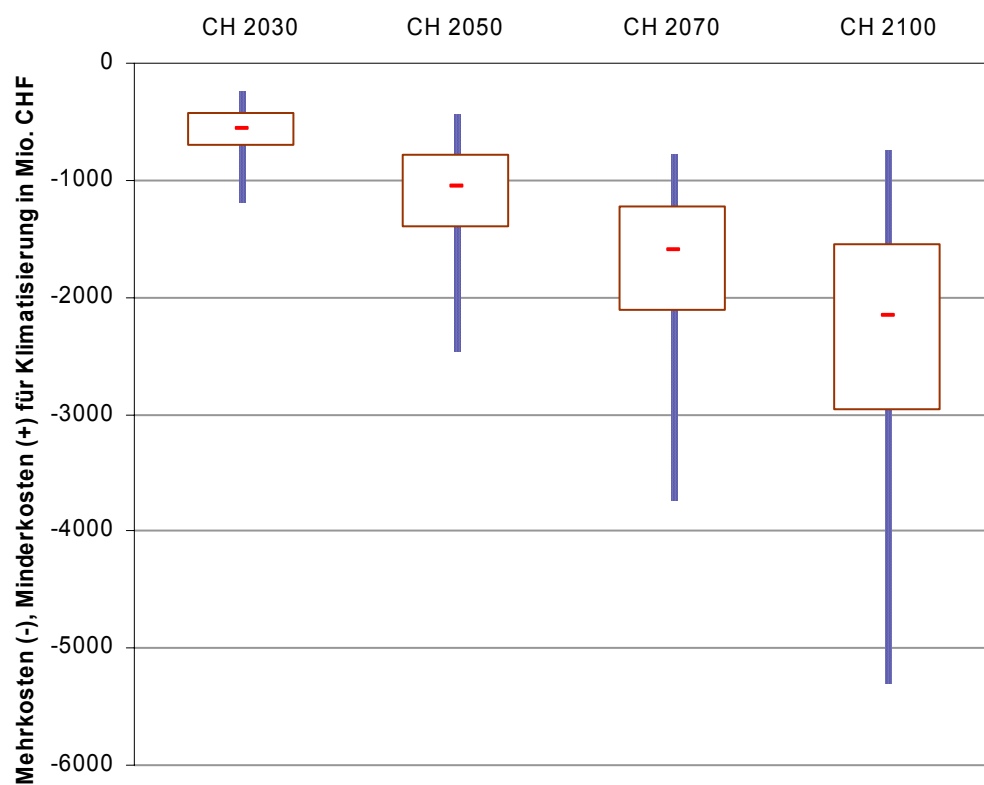
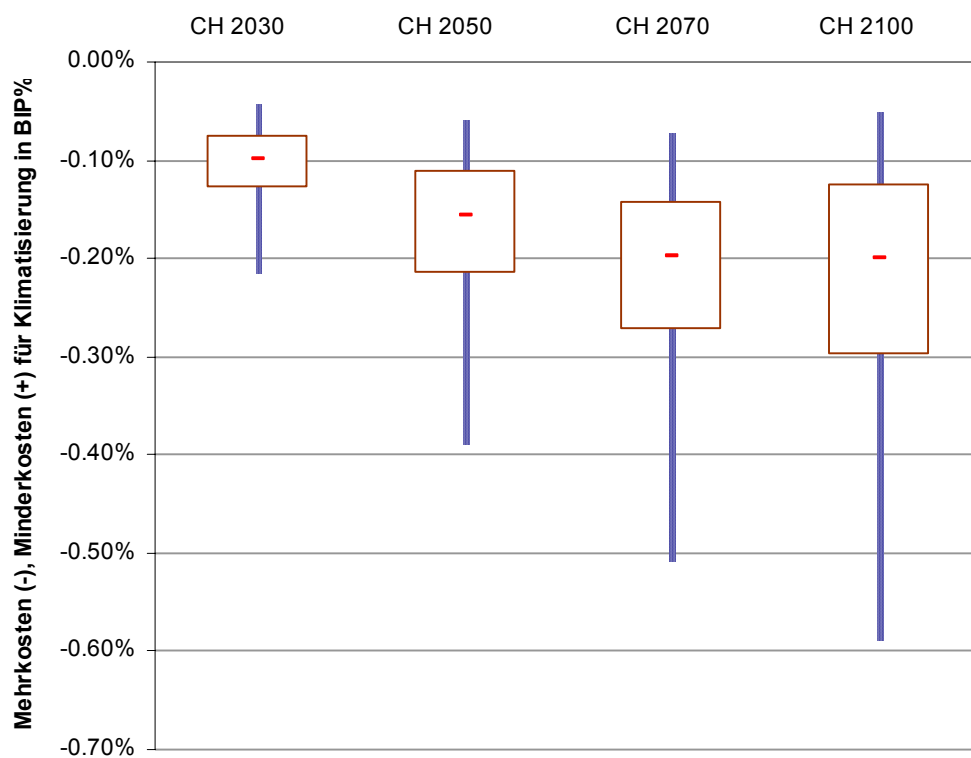
Grafik 6-23: Einfluss der Kühlgradtage auf den spez. Strombedarf für die Klimatisierung

- **Schritt 4 – Klimatisierung im Industriebereich:** Grundsätzlich wurde ähnlich verfahren, nur dass der Klimatisierungsbedarf im Industriebereich im Vergleich zum Dienstleistungsbereich um 50% reduziert wurde.
- **Schritt 5 – Veränderung des Endenergieverbrauchs (Elektrizität) für Klimatisierung:** Unter den vorgängig getroffenen Annahmen zeigt sich, dass der Stromverbrauch aufgrund der vermehrten Klimatisierung massiv ansteigen wird (vgl. Grafik 6-24). Der Stromverbrauch nimmt im Mittel (Median) bis 2050 um 7.5 TWh/Jahr zu. Bis 2100 muss gar mit einer Stromverbrauchszunahme von über 15 TWh/Jahr (Median) gerechnet werden. Die Bandbreite (95%-Vertrauensintervall) reicht im Jahr 2100 von gut 5 bis 35 TWh/Jahr.

Grafik 6-24: Veränderung des Endenergieverbrauchs für Klimatisierung



- **Schritt 6 – Mehrkosten aufgrund der vermehrten Klimatisierung:** Die Mehr- und Minderkosten werden auf Basis der „Beschaffungskosten“ für die zusätzliche Stromnachfrage und den Kapital- und betrieblichen Unterhaltskosten für die Klimatisierung bestimmt (Annahmen dazu vgl. Schritt 2). Die Grafik 6-25 zeigt die Mehrkosten (mit negativem Vorzeichen) aufgrund der vermehrten Kosten für die Klimatisierung in Mio. CHF/Jahr. Wir berechnen für das Jahr 2030 klimabedingte Mehrkosten von im Mittel (Median) gut 550 Mio. CHF/Jahr und bis 2050 von knapp 1050 Mio. CHF/Jahr. Bis 2100 steigen die Mehrkosten gar auf 2150 Mio. CHF/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von -780 bis knapp -5300 Mio. CHF/Jahr. Für die Jahre ab 2050 muss aufgrund der nur noch mässig wachsenden Wohn- und Arbeitsfläche mit klimabedingten Mehrkosten von rund 0.15 bis 0.19 BIP% gerechnet werden (vgl. Grafik 6-26). Die Mehrkosten bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von 0.05 BIP% bis 0.6 BIP%.

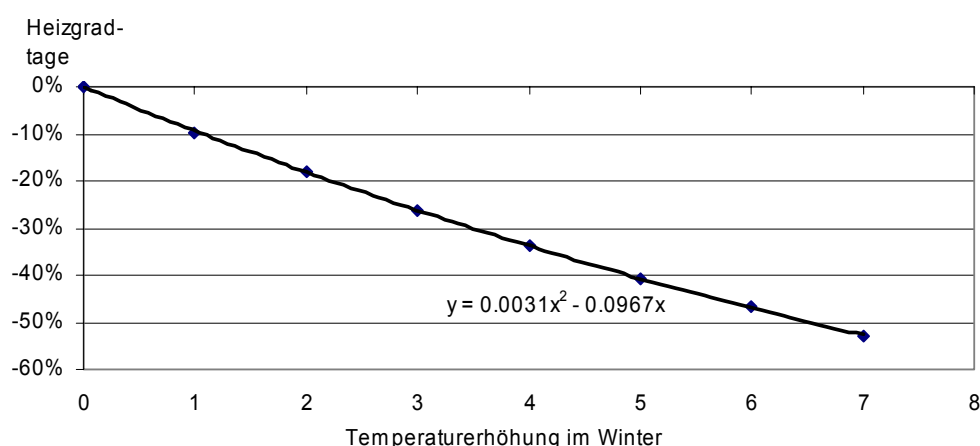
Grafik 6-25: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) für Klimatisierung in Mio. CHF/Jahr**Grafik 6-26: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) für Klimatisierung in BIP%**

Auswirkungen des geringeren Heizwärmebedarfs

Mit den wärmeren Temperaturen nehmen die Heizgradtage⁴⁹ und damit der Energieverbrauch für die Heizung ab.⁵⁰ Die Energieperspektiven 2035 haben den Einfluss der höheren Temperaturen auf den Heizenergiebedarf quantifiziert. Da wir in der vorliegenden Studie aufgrund des längeren Zeithorizonts mit wesentlich höheren Temperaturanstiegen rechnen müssen, haben wir die Berechnungen der Sektormodelle (Haushalte, Dienstleistung und Landwirtschaft, Industrie) mit einigen vereinfachenden Annahmen nachvollzogen und für die Jahre nach 2035 extrapoliert.⁵¹ Nachfolgend zeigen wir auf, wie wir die Minderkosten für die Heizung bestimmt haben.

- **Schritt 1 – Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Heizgradtage:** Die steigenden Temperaturen verringern die Heizgradtage und damit den Energiebedarf für die Heizung. Die heutigen Heizgradtage belaufen sich auf 3588. Mit Hilfe einer groben Schätzung wurde eine Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und Heizgradtagen konstruiert (vgl. Grafik 6-27).

Grafik 6-27: Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Heizgradtage



Auf Basis dieser Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und Heizgradtagen wurden getrennt für die drei Sektoren Haushalte, Dienstleistungen/Landwirtschaft und Industrie der Heizenergiebedarf bestimmt.

- **Schritt 2 – Heizwärme im Haushaltbereich:** Wir folgen den Überlegungen der im Rahmen der Energieperspektiven 2035 erarbeiteten Sensitivitätsberechnungen „Klima wär-

⁴⁹ Heizgradtage: Differenz zwischen der erwünschten mittleren Raumtemperatur (20 °C) und der mittleren Aussentemperatur, summiert über alle Kalendertage mit $T < 12$ °C.

⁵⁰ Der klimabedingte Einfluss auf die Warmwassererzeugung ist gering und wird nachfolgend weggelassen.

⁵¹ Die Auswirkungen der Temperaturerhöhungen sind im Sektor Verkehr vergleichsweise gering (vgl. Energieperspektiven 2035) und wurden hier nicht berücksichtigt.

mer“⁵², mussten aber diverse zusätzliche Annahmen treffen, die in der Tabelle 6-21 zusammengefasst sind:

- Das Bevölkerungswachstum wurde den neuen Bevölkerungsszenarien des BFS⁵³ angepasst (vgl. dazu auch die Annahmen gemäss Kapitel 4.2).
- Die Energiebezugsfläche (EBF) gemäss Energieperspektiven 2035 wurde diesen neuen Bevölkerungsentwicklung angepasst. Für die Jahre nach 2030 wurde nur noch ein massvoller Zuwachs der EBF/Kopf unterstellt.
- Die Energiekennzahlen entsprechen bis 2030 den in den Energieperspektiven 2035 berechneten Werten. Dabei wurde ein Bandbreite unterstellt (Entwicklung der durchschnittlich maximalen Energiekennzahl gemäss Szenario I der Energieperspektiven, der tiefere Wert der Bandbreite entspricht der Energiekennzahl gemäss Szenario IV). Für die Entwicklung nach 2035 wurde ein weiterer Rückgang der durchschnittlichen Energiekennzahl für den gesamten Gebäudebestand unterstellt.
- In den Energieperspektiven wird der Einfluss der Temperaturerhöhung auf den Energieverbrauch über einen empirisch hergeleiteten Zusammenhang zwischen Gradtagen und Strahlung modelliert.⁵⁴ Dieses Verfahren ist allerdings für unsere Zwecke zu aufwändig. Wir behelfen uns für die Bestimmung des Zusammenhangs auf die ursprünglich für die Witterungsbereinigung angewandte Formel:

$$EH_{\text{wärmer}} = EH_{\text{heute}} / (a * HGT_{\text{heute}} / HGT_{\text{wärmer}} + 1 - a)$$

$$HGT_{\text{heute}} = 3588 \text{ (HGT = Heizgradtage)}$$

$$HGT_{\text{wärmer}} = \text{HGT nach Temperaturerhöhung (gemäss Grafik 6-27)}$$

$$EH = \text{Energiebedarf Heizung}$$

$$a = \text{Anteilsfaktor, } a = 1 \text{ für Haushaltbereich und Dienstleistung, } a = 0.75 \text{ für Industrie}$$

- Die spezifischen Ressourcenkosten (Rp./kWh) zur Berechnung der Minderkosten für die Gebäudebeheizung haben wir wie folgt festgelegt:
 - Kosten für den spezifischen Endenergieeinsatz für Heizung. Wir haben die drei hauptsächlichsten Energieträger (Öl, Gas und Elektrizität) gewichtet (60%, 30% und 10%). Für den anlegbaren Ölpreis sind wir von einer Bandbreite von 30 bis 80 US\$/Fass ausgegangen. Weiter wurden die externen Kosten für Gesundheit und Gebäude berücksichtigt (0.8 Rp./kWh für Öl, 0.2 Rp./kWh für Gas und 0.3 bis 1.1 Rp./kWh für Strom).⁵⁵

⁵² Prognos (2007), Energieverbrauch der privaten Haushalte 1990-2035.

⁵³ BFS (2006), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Neuenburg.

⁵⁴ Vgl. Prognos (2003), Einfluss der Temperatur- und Globalstrahlungsschwankung auf den Energieverbrauch der Gebäude.

⁵⁵ Diese Annahme bedeutet nicht, dass die Heizenergie auch in Zukunft hauptsächlich auf diesen drei Energieträgern basiert. Sie bedeutet lediglich, dass künftige alternative Energiesysteme Zusatzkosten in dieser Grössenordnung verursachen dürfen.

- Insgesamt ergeben sich somit spezifische Ressourcenkosten von 5 bis gut 12 Rp./kWh für die Haushalte.

Tabelle 6-21: Kennzahlen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für Haushalte

		2005	2030	2050	2070	2100
Bevölkerung [Mio.]		7.5	8.1	8.1	8.1	8.1
EBF [m2/Kopf]		59	73	81	88	96
EBF [Mio. m2]		444	592	658	713	780
Energiekennzahl MJ/m2	Sz I	433	290	235	201	179
ohne Klimaerwärmung	Sz IV	432.9	214	133	90	64
Temperaturerhöhung, Median JJA		0	1.0	1.8	2.6	3.7
Heizgradtage		3'588	3'252	3'000	2'761	2'467
Alpha		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Rückgang Heizenergiebedarf		0%	9%	16%	23%	31%
Energiekennzahl MJ/m2	Sz I	433	263	197	154	123
mit Klimaerwärmung	Sz IV	433	194	111	69	44
Einsparung	Sz I	-	27	39	46	56
in MJ/m2	Sz IV	-	20	22	21	20
Einsparung	von		3	4	4	4
in TWh	bis		4	7	9	12
Ressourcenkosten Min Rp./kWh			5	5	5	5
Ressourcenkosten Max Rp./kWh			12	12	12	12
Ressourcenkosten Min Mio. CHF			179	217	222	234
Ressourcenkosten Max Mio. CHF			552	873	1'133	1'499

- **Schritt 3 – Heizwärme im Dienstleistungsbereich:** Auch hier folgen wir den Überlegungen der im Rahmen der Energieperspektiven 2035 erarbeiteten Sensitivitätsberechnungen „Klima wärmer“ (vgl. CEPE (2007)). Das Vorgehen ist ähnlich wie bei den Haushalten (vgl. Tabelle 6-22), einziger massgeblicher Unterschied ist, dass die spezifischen Ressourcenkosten rund 1 Rp./kWh tiefer angesetzt wurden.
- **Schritt 4 – Heizwärme im Industrie:** Den Überlegungen der im Rahmen der Energieperspektiven 2035 erarbeiteten Sensitivitätsberechnungen „Klima wärmer“⁵⁶ folgend ergeben sich die Entwicklungen gemäss Tabelle 6-23. Zu wiederholen ist, dass alle Annahmen ab 2035 nicht aus den Energieperspektiven stammen, sondern z.H. der hier vorliegenden Studie getroffen wurden.

⁵⁶ Basics (2006), Der Energieverbrauch der Industrie 1990-2035.

Tabelle 6-22: Kennzahlen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für Dienstleistung/Landwirtschaft

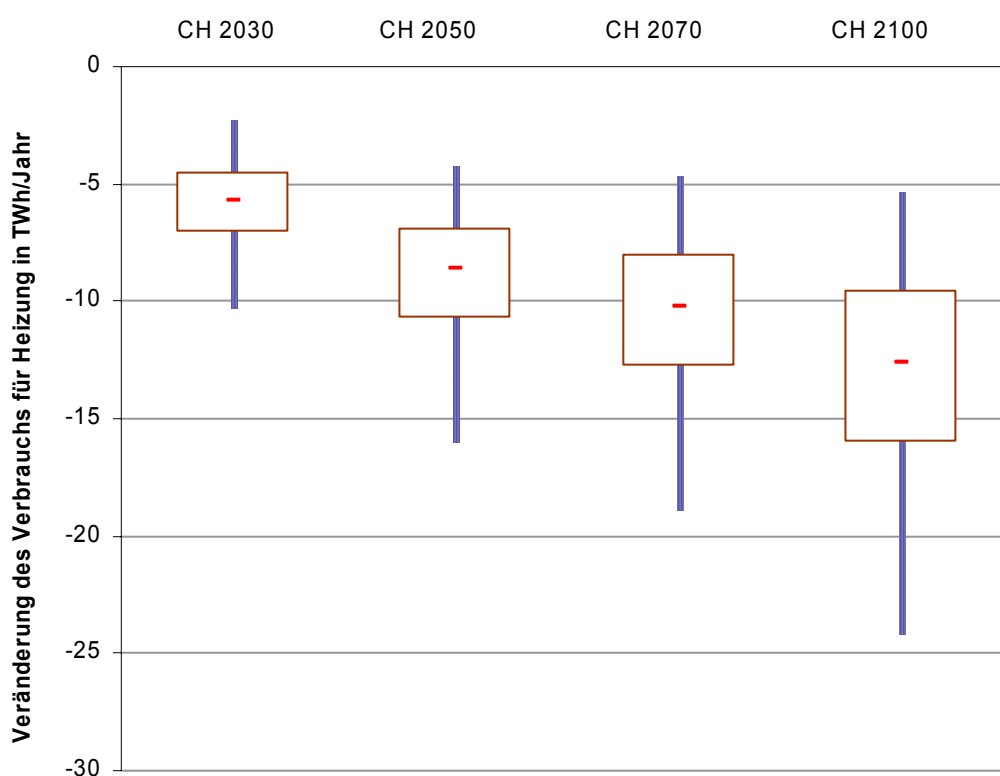
		2005	2030	2050	2070	2100
Vollzeitäquivalent DL+LW [Mio.]		2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
EBF [m2/VÄ]		62	75	83	90	99
EBF [Mio. m2]		147	190	206	223	244
Energiekennzahl MJ/m2	Sz I	485	333	312	264	225
ohne Klimaerwärmung	Sz IV	485	230	194	146	107
Temperaturerhöhung, Median JJA		0	1	1.8	2.6	3.7
Heizgradtage		3'588	3'252	3'000	2'761	2'467
Alpha		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Rückgang Heizenergiebedarf		0%	9%	16%	23%	31%
Energiekennzahl MJ/m2	Sz I	485	302	261	203	155
mit Klimaerwärmung	Sz IV	485	209	162	112	73
Einsparung	Sz I	-	31	51	61	70
in MJ/m2	Sz IV	-	22	32	34	33
Einsparung	von		1	2	2	2
in TWh	bis		2	3	4	5
Ressourcenkosten Min Rp./kWh			4	4	4	4
Ressourcenkosten Max Rp./kWh			11	11	11	11
Ressourcenkosten Min Mio. CHF			50	81	92	100
Ressourcenkosten Max Mio. CHF			187	332	427	540

Tabelle 6-23: Kennzahlen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für Industrie

		2005	2030	2050	2070	2100
Heizung [PJ]	Sz I	29.3	28.1	25	22	20
	Sz IV	29.3	22	16	13	10
Temperaturerhöhung, Median JJA		0	1	1.8	2.6	3.7
Heizgradtage		3'588	3'252	3'000	2'761	2'467
Alpha		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Rückgang Heizenergiebedarf			7%	13%	18%	25%
Einsparung	von		0.6	0.9	1.1	1.4
in TWh	bis		0.4	0.6	0.7	0.7
Ressourcenkosten Min Rp./kWh			4	4	4	4
Ressourcenkosten Max Rp./kWh			11	11	11	11
Ressourcenkosten Min Mio. CHF			25	40	50	63
Ressourcenkosten Max Mio. CHF			50	65	75	80

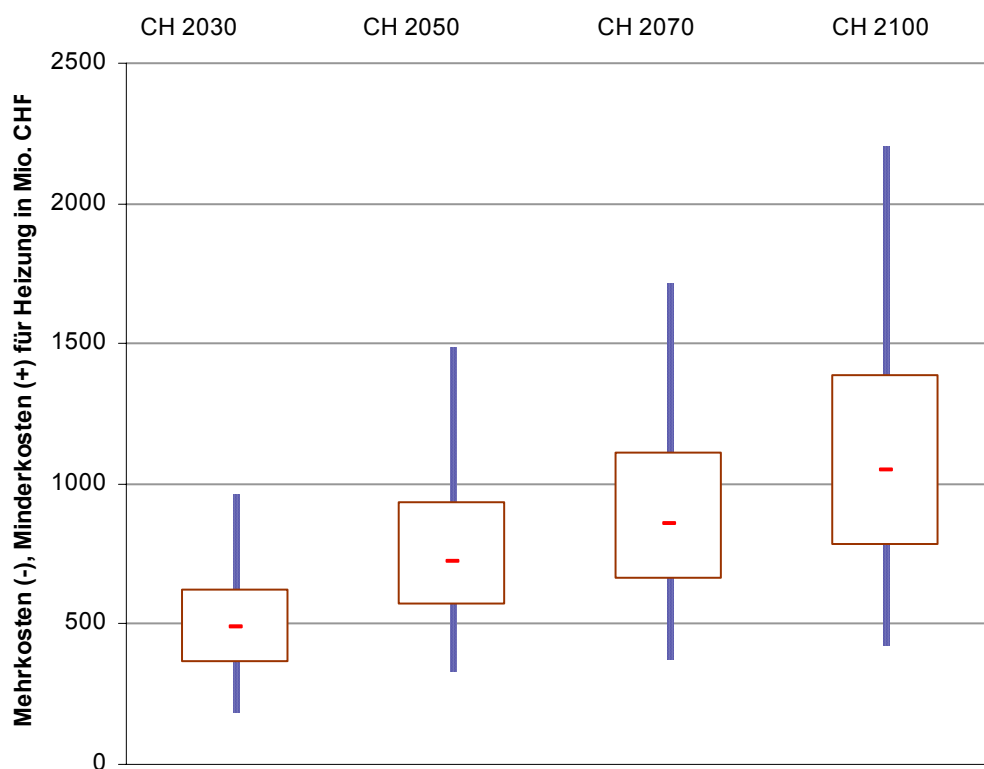
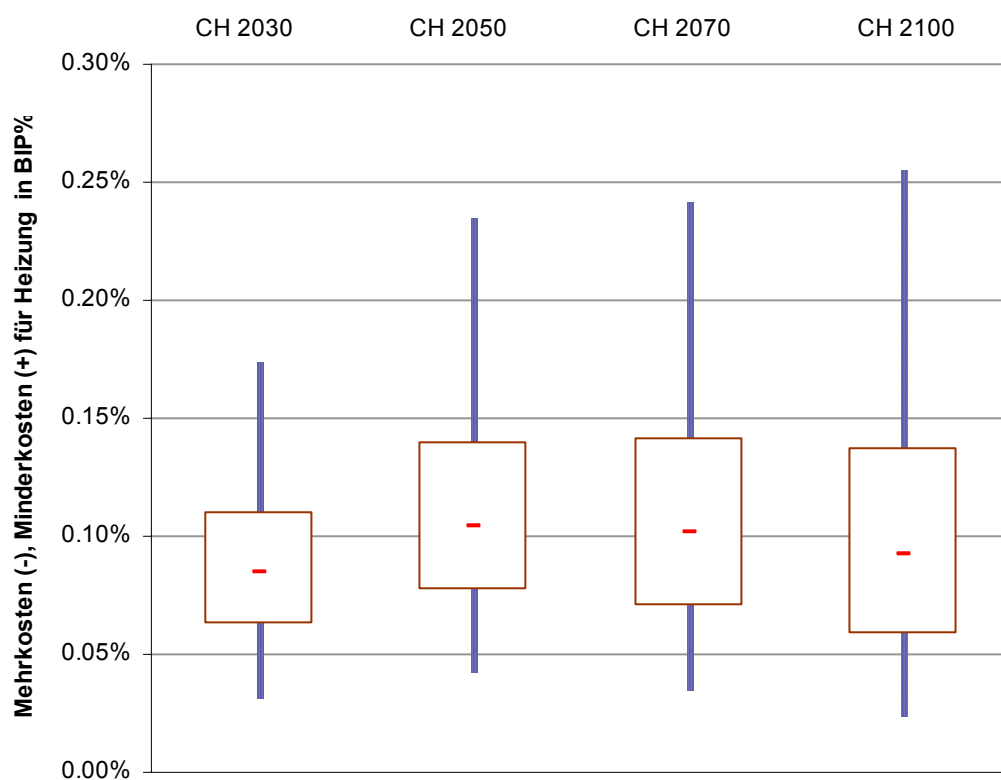
- Schritt 5 – Veränderung des Endenergieverbrauchs für Heizung:** Unter den vorgängig getroffenen Annahmen zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch aufgrund der höheren Temperaturen rückläufig ist (vgl. Grafik 6-28). Der Endenergieverbrauch für die Beheizung nimmt im Mittel (Median) bis 2050 um 8.5 TWh/Jahr ab. Der Heizenergiebedarf nimmt mit den nach 2050 weiter steigenden Temperaturen weiter ab - bis 2100 kann mit einer Abnahme von über 12 TWh/Jahr (Median) gerechnet werden. Die Bandbreite (95%-Vertrauensintervall) reicht im Jahr 2100 von gut -5 bis -24 TWh/Jahr.

Grafik 6-28: Veränderung des Endenergieverbrauchs für Heizung



- Schritt 6 – Minderkosten aufgrund verringertem Heizenergiebedarf:** Die Grafik 6-29 zeigt die Minderkosten (mit positivem Vorzeichen) aufgrund der rückläufigen Heizenergienachfrage in Mio. CHF/Jahr. Wir berechnen für das Jahr 2030 klimabedingte Minderkosten von im Mittel (Median) knapp 500 Mio. CHF/Jahr und bis 2050 von gut 700 Mio. CHF/Jahr. Bis 2100 steigen die Minderkosten auf 1050 Mio. CHF/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von 400 bis 2200 Mio. CHF/Jahr.

Beziehen wir die Minderkosten auf das BIP, so ist kein Rückgang des BIP-Anteils festzustellen (vgl. Grafik 6-30). Für die Jahre 2030 bis 2100 betragen die Minderkosten 0.08 bis 0.10 BIP%. Dass die Minderkosten im Vergleich zum BIP trotz weiter steigenden Temperaturen nicht zunehmen ist den nur noch mässig wachsenden Wohn- und Arbeitsflächen sowie den stark rückläufigen spezifischen Heizenergieverbräuchen zuzuschreiben. Im Vergleich zu den Mehrkosten bei der Klimatisierung sind die Unsicherheiten (Bandbreiten) deutlich geringer, da die Entwicklung im Raumwärmebereich besser voraussehbar ist.

Grafik 6-29: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) für Heizung in Mio. CHF/Jahr**Grafik 6-30: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) für Heizung in BIP%**

Auswirkungen auf den gesamten Energiebereich – zusammenfassende Darstellung

Betrachten wir alle drei untersuchten Bereiche (Elektrizitätsangebot, Klimatisierung und Heizung) simultan, so erhalten wir folgende Resultate:

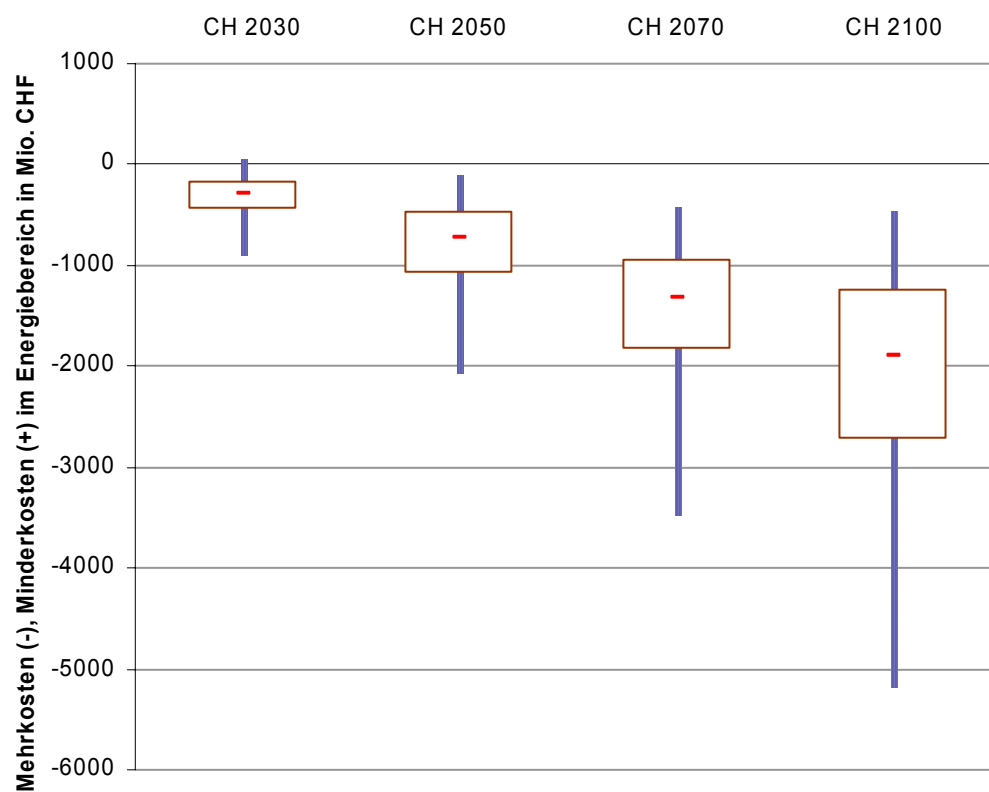
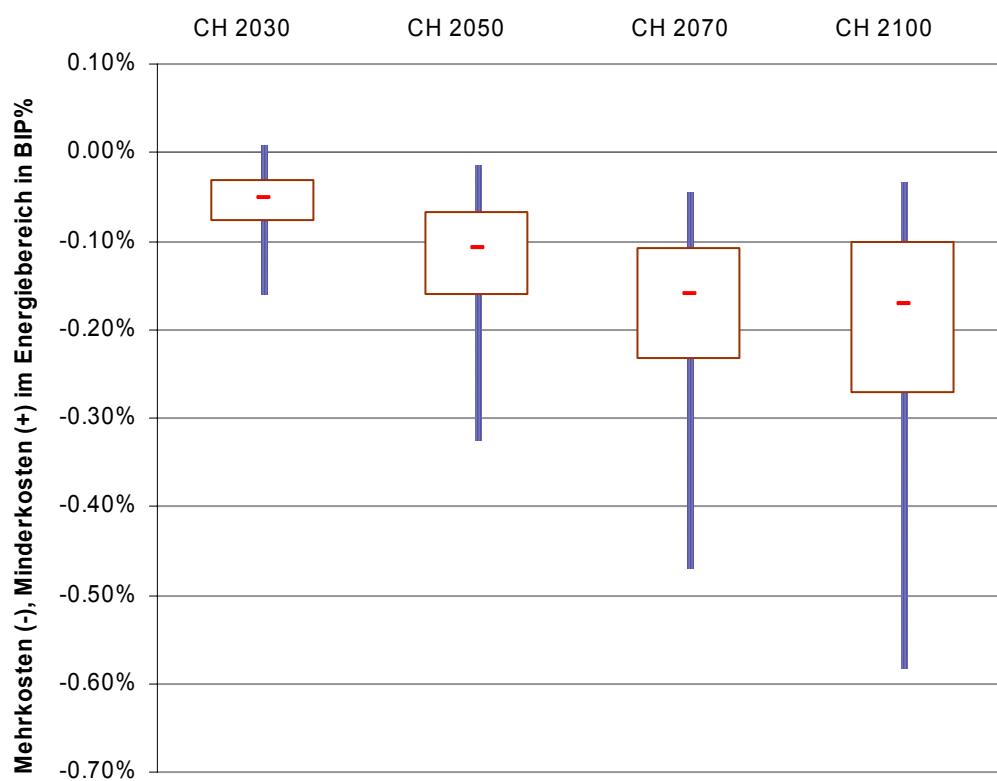
- Die Grafik 6-31 zeigt die Mehrkosten (mit negativem Vorzeichen) im gesamten Energiebereich in Mio. CHF/Jahr. Wir berechnen für das Jahr 2030 klimabedingte Mehrkosten von im Mittel (Median) gut 300 Mio. CHF/Jahr und bis 2050 von knapp 750 Mio. CHF/Jahr. Bis 2100 steigen die Mehrkosten auf knapp 1900 Mio. CHF/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von -500 bis knapp -5200 Mio. CHF/Jahr (95%-Vertrauensintervall).
- Setzt man die Mehrkosten in Beziehung zum BIP⁵⁷, so steigen die BIP-Anteile stetig, was vor allem auf die stark zunehmenden Kosten für die Klimatisierung zurückzuführen ist. Auch die Bandbreite der Unsicherheit nimmt weiter zu (vgl. Grafik 6-32). Für 2050 muss mit klimabedingten Mehrkosten im Energiebereich von rund 0.13 BIP% gerechnet werden. Die Mehrkosten steigen bis 2070 auf 0.16 BIP% und nehmen danach nur noch geringfügig bis 2100 auf 0.17 BIP% zu und bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von 0.04 BIP% bis 0.58 BIP% (95%-Vertrauensintervall).

Vergleich mit der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie rechnet im Energiebereich bei ähnlichen Annahmen zur Temperaturerhöhung für die Schweiz und das Jahr 2050 mit einem kleinen Klimanutzen von 30 Mio. CHF. Als Vergleichswert der vorliegenden Schätzung errechnen wir einen Klimaschaden von 750 Mio. CHF (Median für das Jahr 2050). Die vorliegende Analyse kommt also zu einer deutlich pessimistischeren Einschätzung im Energiebereich. Wie können diese Differenzen erklärt werden:

- Energieangebot: Die NFP31-Studie geht davon aus, dass sich die Stromproduktion per Saldo nicht verändert. Die klimatologische Einschätzung bzgl. der Niederschlagsmengen hat sich in der Zwischenzeit geändert. Weiter geben die durchgeführten Studien im Rahmen der Energieperspektiven 2035 ein differenzierteres Bild und zeigen auf, dass mit einem spürbaren Rückgang der Stromproduktion in Wasserkraftwerken zu rechnen ist, was Mehrkosten von 400 Mio. CHF verursacht.
- Klimatisierung: Die NFP31-Studie rechnet mit Mehrkosten für die Klimatisierung von rund 290 Mio. CHF oder rund 0.08 BIP% (bezogen auf ein BIP von 1995). Der Einfluss der Klimaerwärmung auf die Klimatisierung wurde erstmals in den aktuellen Energieperspektiven thematisiert. Die Mehrkosten werden für das Jahr 2050 in der vorliegenden Studie auf rund 1050 Mio. CHF – also gut 3 mal höher als in der NFP31-Studie berechnet – beziffert. Allerdings müssen für einen sinnvollen Vergleich die BIP% verglichen werden. Die vorliegende Studie kommt dabei mit 0.13 BIP% auf eine ähnliche Grössenordnung wie die Grobtschätzung der NFP31-Studie.

⁵⁷ Die BIP-Wachstumsraten wurden im Kapitel 4.2 als Bandbreite von 0.5% bis 2.0%/Jahr gewählt, mit einem Median von 0.9%/Jahr.

Grafik 6-31: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) im Energiebereich in Mio. CHF/Jahr**Grafik 6-32: Mehrkosten (-), Minderkosten (+) im Energiebereich in BIP%**

- Heizung: Die NFP31-Studie rechnet mit Minderkosten für die Heizung von rund 320 Mio CHF oder rund 0.09 BIP%. Die vorliegende Studie rechnet mit Minderkosten von 700 Mio. CHF, was ebenfalls 0.09 BIP% entspricht. Die Grobtschätzung gemäss NFP31 und die hier vorliegende Schätzung auf Basis der Energieperspektiven 2035 kommen also auf ähnliche Werte.

Die Differenzen zwischen der NFP31-Studie und den vorliegenden Berechnungen erklären sich somit aus den Mehrkosten für die Klimatisierung und der Stromproduktionseinbusse bei den Wasserkraftwerken.

Würdigung der Resultate

Wir sehen vor allem im Bereich der Klimatisierung noch Forschungsbedarf. Während die Situation im Raumwärmebereich relativ gut abschätzbar ist, liegen hier in der Klimatisierung die grössten Unsicherheiten.

Im Verkehrsbereich, bei dem die klimabedingten Auswirkungen gemäss den Energieperspektiven 2035 als gering eingestuft werden, wäre es allenfalls zu prüfen, wie hoch der klimabedingte Mehrbedarf an Energie für die Klimatisierung im öffentlichen Verkehr und im Privatverkehr ist.

6.6 Menschliche Gesundheit

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Bei der Verfassung der NFP31-Studie lagen für die Schweiz keine Studien vor, die den Einfluss von Klimaänderungen auf die Gesundheit der Bevölkerung analysiert hatten. Die NFP31-Studie hat daher auf eine Monetarisierung im Bereich Gesundheit verzichtet.

b) Resultate internationaler Studien

Gemäss OcCC-Bericht wird die wahrscheinliche Zunahme von Hitzewellen bis 2050 die wichtigste klimabedingte Veränderung für die Gesundheit sein. Der Hitzesommer 2003 hat mit rund 1000 zusätzlichen Todesfällen die Anfälligkeit der Bevölkerung aufgezeigt. In der Folge des Hitzesommers 2003 wurden verschiedene Untersuchungen zu den Auswirkungen des Hitzesommers 2003 publiziert (vgl. dazu die Literaturhinweise im OcCC-Bericht) und sind im OcCC-Bericht aufgearbeitet (vgl. Kapitel 5 für die wichtigsten Erkenntnisse aus dem OcCC-Bericht).

Die WWF-Studie (2007)⁵⁸ stellt den Wissenstand über die Auswirkungen des Klimawandels für die Gesundheit der Menschen in Deutschland zusammen. Die Studie rechnet mit einer starken Zunahme der Mortalität und einer massiven Abnahme der Leistungsfähigkeit, was die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und damit das BIP negativ beeinflusst. Die Zunahme der Hitzetote wird auf 5000 (Werte für Deutschland) – unter Beachtung der demografischen Alterung gar auf 12000 – geschätzt. Die durch Hitzetage eingeschränkte Leistungsfähigkeit würde gemäss dieser Studie zu einem um 0.12% bis 0.48% geringeren BIP führen – bei hohem Rückgang der Leistungsfähigkeit könnte sogar ein BIP-Rückgang von 5% drohen.

Aus unserer Sicht unterschätzt die WWF-Studie die möglichen Anpassungsmassnahmen und überschätzt daher die Auswirkungen von Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit. Die in der WWF-Studie aufgearbeitete Literatur wird für die Abschätzung der Klimafolgeschäden im Bereich Gesundheit für die Schweiz aber nutzbar sein.

c) Schadenskosten für die Schweiz

Gesundheitlich werden sich in erster Linie die wahrscheinlich vermehrt eintretenden Hitzewellen negativ auswirken. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen und Forschungen zum Hitzesommer 2003 kann vor allem in zwei Bereichen eine Monetarisierung der Schäden vorgenommen werden:

- Hitzebedingte Leistungseinbussen
- Hitzebedingter Anstieg der Mortalität

⁵⁸ WWF (2007), Kosten des Klimawandels, Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit.

Weitere Effekte lassen sich aufgrund des heutigen Kenntnisstandes nicht monetarisieren. Insbesondere zu den vermehrten Spital- und Arztkosten können keine Kosten ermittelt werden. Allerdings darf vermutet werden, dass diese Kosten im Vergleich zu den Mortalitätskosten sehr klein sind.⁵⁹

Hitzebedingte Verringerung der Leistungsfähigkeit

Hitzetage belasten die Leistungsfähigkeit der Menschen. Bei eingeschränkter Leistungsfähigkeit nimmt die Arbeitsproduktivität ab und damit die wirtschaftliche Leistung und letztlich das BIP.

Es gibt eine ansehnliche Anzahl von Studien, welche die Reaktion der mentalen und physischen Leistungsfähigkeit bei steigenden Temperaturen untersucht haben (für einen Überblick vgl. dazu die WWF-Studie (2007)). Die Ergebnisse dieser Studien zeigen eine grosse Bandbreite, die von 3% Leistungsminderung bei hohen Temperaturen bis zu 50% reicht. Allerdings muss dazu erwähnt werden, dass diese Messungen der Leistungsminderung immer auf Experimenten unter Laborbedingungen gelten und daher nicht direkt auf die „normale“ Arbeitswelt übertragbar sind. Die WWF-Studie (2007) rechnet mit einer Leistungsminderung von 3% und 12% bei starker und extremer Hitze, was zu einem entsprechenden Rückgang der wirtschaftlichen Leistung führen würde, sofern alle Berufstätigen von dieser Leistungsminderung betroffen sind.

„Indoor-Arbeitsplätze“

Die Leistungseinbussen können bei „Indoor-Arbeitsplätzen“ durch die Klimatisierung der Räume gänzlich vermieden werden. Eine gut eingestellte Klimaanlage hat keine negativen gesundheitlichen Konsequenzen. Insbesondere gibt es keine Hinweise darauf, dass der durch die Klimatisierung nötige extreme Temperaturwechsel von drinnen nach draussen gesundheitlich problematisch wäre. Da wir bei den klimabedingten Kosten im Energiebereich mit einer starken Zunahme der Klimatisierung gerechnet haben, gehen wir davon aus, dass die Leistungsfähigkeit bei „Indoor-Arbeitsplätzen“ durch die wahrscheinlich zusätzlich auftretenden Hitzewellen nicht beeinträchtigt wird.

„Outdoor-Arbeitsplätze“

Im Bereich der „Outdoor-Arbeitsplätze“ dürften Hitzetage hingegen zu einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit führen. Es darf angenommen werden, dass Arbeiten im Freien mehrheitlich von tendenziell „hitze- bzw. wetterresistenteren“ Personen wahrgenommen werden. Trotzdem dürfte die grosse Hitze die Leistungsfähigkeit auch solcher Personen negativ beeinflussen: bspw. müssen vermehrt Pausen eingelegt werden („Schatten- und Trinkpausen“) oder der Arbeitgeber muss spezielle Vorkehrungen zur Regeneration treffen (Duschen, usw.), welche mit Mehrkosten verbunden sind.

⁵⁹ Vgl. dazu Ecoplan / Infrac / ISPM (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Energie sowie Bundesamt für Gesundheit.

Wie gross die Leistungseinbussen bei „Outdoor-Arbeitsplätzen“ sind, ist unbekannt. In verschiedenen Studien wird die Verringerung der Produktivität im Temperaturbereich 26 bis 36°C mit 3 % bis 12 % angegeben.⁶⁰ Wegen fehlender Randbedingungen und Angaben zur Streuung ist die Interpretation dieser Grössen allerdings nicht möglich.

Für die Bestimmung der Schadenskosten im Bereich der hitzebedingten Verringerung der Leistungsfähigkeit unterstellen wir folgende Annahmen:

- Die Leistungsfähigkeit bei den „Outdoor-Arbeitsplätze“ reduziert die Wertschöpfung in Zeiten während hoher Hitzebelastung um 3% bis 12%.
- Die „Outdoor-Arbeitsplätze“ sind für 10% bis maximal 15% der Wertschöpfung verantwortlich. Es handelt sich dabei vorwiegend um folgende Sektoren: Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe, Teilbereiche der industriellen Sektoren und Dienstleistungen (bspw. Post, Bahn, Ver- und Entsorgung, usw.).

Die Bestimmung des wirtschaftlichen Schadens einer Hitzewelle rechnen wir anhand des Hitzesommers 2003 hoch. Dabei wurden folgende Annahmen unterstellt:

- Die Eintretenswahrscheinlichkeit für den Hitzesommer 2003 wurde von Christoph Frei berechnet. Die folgenden Werte geben an, wie häufig im Durchschnitt die mittleren Sommer-Temperaturen in der Nordschweiz die Marke von 22.25 Grad (entspricht dem Hitzesommer 2003) erreicht oder überschritten wird. Alle Angaben sind in Jahren. "Min", "Median" und "Max" entsprechen den Klimaszenarien zu den 2.5%, 50% und 97.5% Quantilen:
 - Heute: > 500
 - 2030: Min: > 500; Median: > 500; Max: 60
 - 2050: Min: > 500; Median: 50; Max: 2
 - 2070: Min: 500; Median: 5; Max: jedes Jahr

Da für unsere Berechnungen die Differenz zu heute von Bedeutung ist und wir mit mathematisch eindeutig festgelegten Zahlen unsere Verteilungsfunktionen herleiten müssen, haben wir – abgeleitet aus obigen Zahlen – folgende Eckwerte für die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Hitzesommers festgelegt.⁶¹

- 2030: Min: 1000; Median: 500; Max: 60
- 2050: Min: 500; Median: 50; Max: 2
- 2070: Min: 500; Median: 5; Max: 1
- 2100 (ad-hoc-Annahme): Min: 50; Median: 1, Max: 1

⁶⁰ Vgl. WWF (2007), Seite 39, referenziert auf Bux (2006), Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen,“ Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Forschung Projekt F 1987.

⁶¹ Die Form der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion entspricht der Form der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die Sommertemperatur (JJA).

- Im Hitzesommer 2003 wurden deutlich mehr Sommertage (Tage mit mehr als 25 °C) und Hitzetage (Tage mit mehr als 30 °C) registriert als im langjährigen Durchschnitt: Der Hitzesommer 2003 bringt rund 90 Sommertage und gut 36 Hitzetage⁶² mehr in den grossen Zentren (siehe Tabelle 6-24). Gehen wir davon aus, dass alle Hitzetage und die Hälfte der Tage mit Maximaltemperaturen zwischen 25 bis 30 °C (Wegrechnung der kühleren Morgenstunden) leistungsbeeinträchtigende Temperaturen aufweisen, so berechnen sich total 63 mehr leistungsbeeinträchtigende Tage für den Hitzesommer 2003. Berücksichtigt man Wochenenden, so können für den Hitzesommer rund 43 zusätzliche leistungsbeeinträchtigende Arbeitstage berechnet werden.

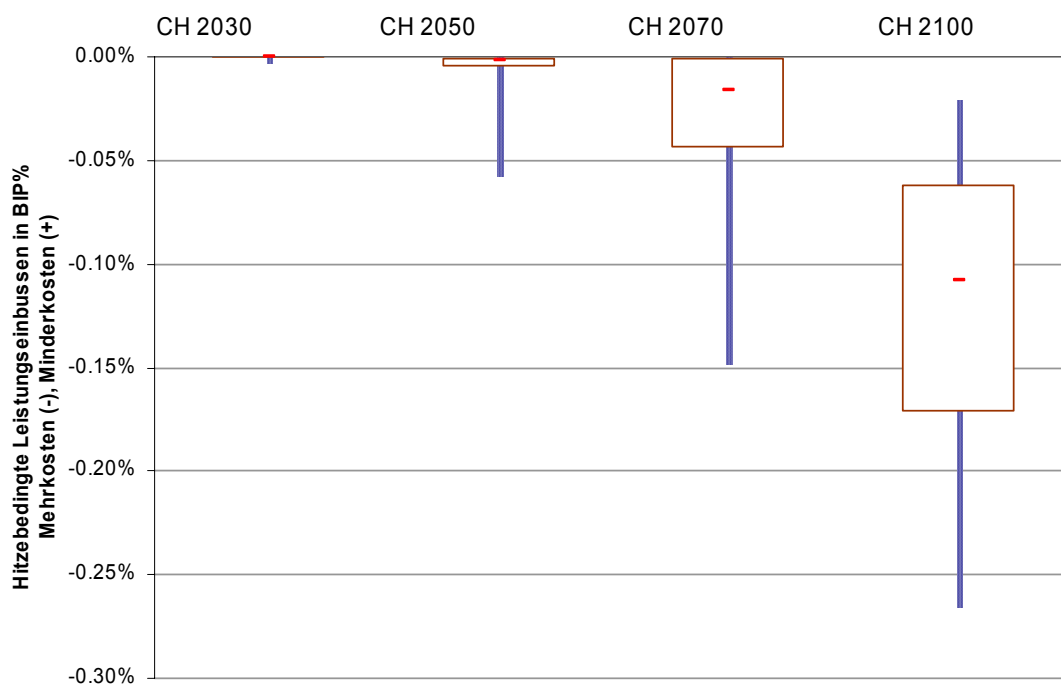
Tabelle 6-24: Sommer- und Hitzetage im Hitzesommer 2003⁶³

	Sommertage			Hitzetage		
	1961-90	Sommer	Differenz	1961-90	Sommer	
	NORM90	2003	2003-NORM	NORM90	2003	2003-NORM
Zürich	30.2	85	55	2.6	27	24
Basel	41.6	98	56	6.8	41	34
Bern	32.6	84	51	3.3	32	29
Genf	47.2	96	49	9.4	51	42
Lugano	49.7	111	61	2.2	47	45

Unter den oben getroffenen Annahmen belaufen sich die Schäden der hitzebedingten Leistungseinbussen auf minimal 0.05 bis maximal 0.30 BIP%. Werden die Eintretenswahrscheinlichkeiten eines Hitzesommers 2003 für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100 berücksichtigt, so sind erst nach 2050 merkliche BIP-Einbussen zu erwarten (vgl. Grafik 6-33). Für 2050 muss mit Einbussen aufgrund hitzebedingten Leistungseinbussen von 0.002 BIP% gerechnet werden. Die Schäden steigen erst nach 2050 an und erreichen bis 2100 im Mittel rund 0.11 BIP% und bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von 0.02 BIP% bis 0.26 BIP% (95%-Vertrauensintervall).

⁶² Für die Bestimmung des Mittelwerts wurden die Sommer- und Hitzetage sehr grob mit der „wirtschaftlichen Bedeutung“ der Zentren gewichtet.

⁶³ Vgl. Z'graggen L. (2006), Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 212.

Grafik 6-33: Hitzebedingte Leistungseinbussen in BIP%

Hitzebedingte Mortalitätskosten

Der Hitzesommer 2003 hat zu rund 1000 vorzeitigen Todesfällen geführt. Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Annahmen wir für die Bestimmung und Monetarisierung der zusätzlichen Todesfälle aufgrund der in Zukunft wahrscheinlich häufiger auftretenden frühzeitigen Todesfällen getroffen haben:

- In der Schweiz wurden aus der vergangenen Entwicklung für das Jahr 2003 14'194 Todesfälle prognostiziert. Tatsächlich sind 15'169 Leute im Jahr 2005 gestorben. Die zusätzlichen Todesfälle, die auf die Hitzewelle zurückzuführen war, wird auf 975 beziffert oder rund 6.9% (95%-Vertrauensintervall 4.9% bis 8.8%) der prognostizierten Todesfälle.⁶⁴ Von diesen 975 waren rund 660 über 80-jährig, 160 zwischen 60 bis 79 Jahre und rund 85 unter 60. Statistisch signifikant (< 5%) sind nur die Todesfälle über 60 Jahre. Wir beschränken uns daher im Folgenden auf die Todesfälle bei den über 60-jährigen.

Die Tabelle 6-25 zeigt die Entwicklung der Hitzeopfer eines 2003-Hitzesommers für die kommenden Jahre unter Berücksichtigung der demografischen Alterung. Die Entwicklung

⁶⁴ Vgl. Grize L, Huss A., Thommen O., Schindler Ch. Braun-Fahrlander Ch. (2005), Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, In: Swiss MED WKLY 2005; 135: p 200-205.

der Bevölkerung nach den Altersgruppe wurde den aktuellen Bevölkerungsszenarien des Bundesamts für Statistik entnommen (Szenario T2-A00).⁶⁵

Tabelle 6-25: Entwicklung der Hitzeopfer aufgrund der demografischen Alterung

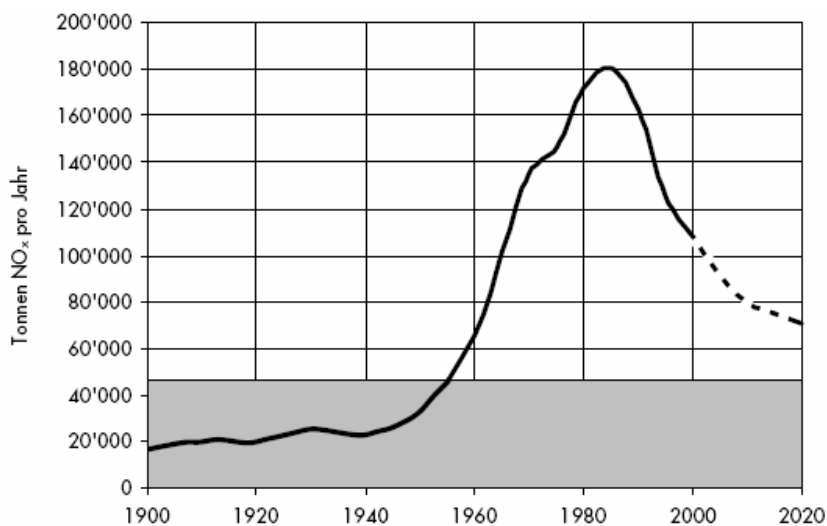
Altersgruppe	Anzahl 2003 [Tausend]	Hitzetote 2003 [Anzahl]		
		Min	Mittel	Max
60 bis 79	1'235	5	161	324
80+	320	452	659	873
Hitzetote in % des Altersgruppenbestands				
60 bis 79		0.0004%	0.0130%	0.0262%
80+		0.1410%	0.2058%	0.2727%
	Anzahl 2030	Hitzetote 2030 [Anzahl]		
		Min	Mittel	Max
60 bis 79	1'912	7	249	501
80+	627	884	1'290	1'710
	Anzahl 2050	Hitzetote 2050 [Anzahl]		
		Min	Mittel	Max
60 bis 79	1'816	7	237	476
80+	941	1'327	1'937	2'566
	Anzahl 2070/2100	Hitzetote 2070/2100 [Anzahl]		
		Min	Mittel	Max
60 bis 79	1'800	7	235	472
80+	900	1'269	1'852	2'454

- Von den Hitzetoten 2003 waren rund 1/3 auf die erhöhte Ozonbelastung und 2/3 auf die höheren Temperaturen zurückzuführen. Inwieweit die Erfahrungen aus der Hitzewelle 2003 auf die Zukunft zu übertragen sind, hängt davon ab, mit welcher Ozonbelastung künftig zu rechnen ist und welche Anpassungsmassnahmen im Bereich der Klimatisierung getroffen werden:
 - Ozonbedingte Hitzeopfer: Die Grafik 6-34 und Grafik 6-35 zeigen, dass wichtige Vorläufersubstanzen für das Ozon in Zukunft rückläufig sein werden. Wir treffen – sehr vereinfachend – die Annahme, dass die Anstrengungen im Bereich der Luftreinhaltung dazu führen, dass bei einer künftigen Hitzewelle, im Vergleich zur Situation 2003 nur noch 50% ozonbedingte Hitzeopfer zu beklagen sind.
 - Temperaturbedingte Hitzetote: Die im Kapitel Energie unterstellte Zunahme der Klimatisierung der Wohnräume würde dazu führen, dass die temperaturbedingten Hitzetoten massiv abnehmen würden. Gesundheitlich problematisch am Hitzesommer 2003 war

⁶⁵ BFS (2005), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Die Werte für 2070 wurden ganz grob geschätzt und entsprechen einer uniformen Altersverteilung bei einer Lebenserwartung von 90 Jahren und einem Bevölkerungsstand von 8.1 Mio. Auf die Berücksichtigung alternativer Szenarien wurde verzichtet, da diese mit dem BIP korreliert sind und für unseren probabilistischen Ansatz ein Zusammenhang zwischen Bevölkerungsentwicklung, demografischer Alterung und BIP-Entwicklung konstruiert werden müsste.

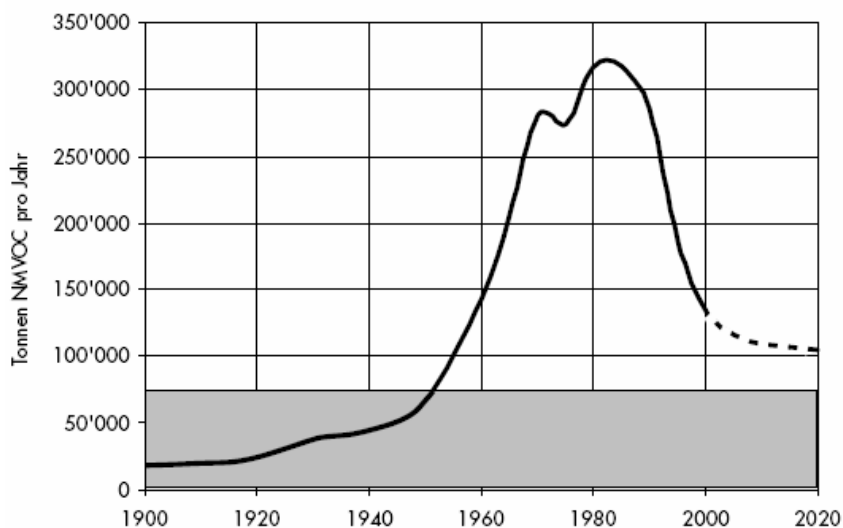
vor allem die Tatsache, dass eine Abkühlung über Nacht nicht möglich war. Die Klimatisierung würde hier Abhilfe schaffen. Vereinfachend gehen wir davon aus, dass bei einer künftigen Hitzewelle nur noch 10% bis maximal 90% der temperaturbedingten Hitzetoten der Hitzewelle 2003 zu beklagen wären.

Grafik 6-34: NO_x-Emissionsentwicklung bis 2020⁶⁶



Legende: Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich innerhalb dessen die Total-emissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung für Ozon und die „critical loads“ für Säure und Stickstoff eingehalten werden könnten (ca. 46'000 Tonnen NO_x pro Jahr).

Grafik 6-35: NMVOC-Emissionsentwicklung bis 2020

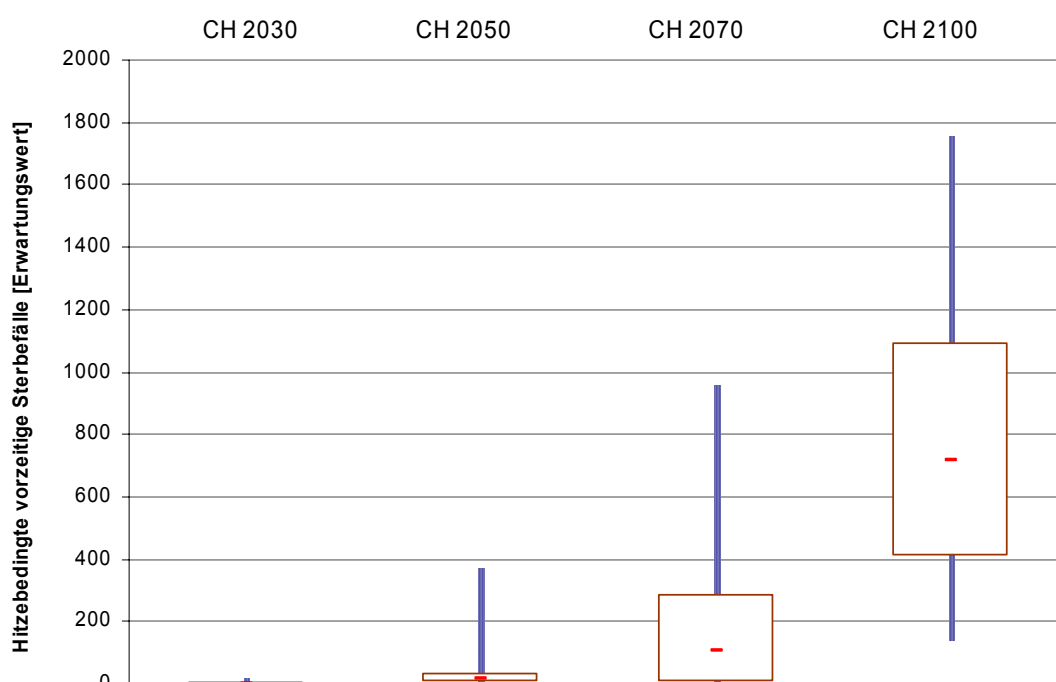


Legende: Grau schattiert „Ökologisches Ziel“: Bereich innerhalb dessen die Total-emissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung für Ozon eingehalten werden könnten (ca. 80'000 Tonnen NMVOC pro Jahr).

⁶⁶ Quelle: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2005)

- Hitzebedingte vorzeitige Sterbefälle: Aus den obigen Annahmen können die hitzebedingten vorzeitigen Sterbefälle berechnet werden (vgl. Grafik 6-36). Bis zum Jahre 2050 ist keine massive Zunahme der vorzeitigen Sterbefälle zu beobachten. Erst für die Jahre nach 2050 steigt der Erwartungswert für die hitzebedingten vorzeitigen Sterbefälle. Vermutlich ist der Erwartungswert von 700 (Median) zusätzlichen Sterbefälle überschätzt, da die Anpassungsmassnahmen (Klimatisierung) vermutlich in diesem Falle schneller als unterstellt zum Zuge kommen. Allerdings ist nicht auszuschliessen, dass das Ausmass der Hitzewellen noch zunehmen wird, so dass die berechnete Bandbreite eine realistische Grössenordnung abgibt.

Grafik 6-36: Hitzebedingte vorzeitige Sterbefälle [Erwartungswert]



- Für die Bewertung der Kosten der hitzebedingten Todesfälle wenden wir das Konzept der verlorenen Lebensjahre an. Wir basieren dabei auf den Resultaten von Ecoplan (2004). Gemäss Ecoplan (2004) kann der „Value of Statistical Life“ (VOSL) von 2.9 Mio. CHF für das Jahr 2000 auf einen Wert pro verlorenem Lebensjahr von 85'000 CHF (VLYL) umgerechnet werden.⁶⁷ Darin sind die gesamten individuell getragenen Kosten des verlorenen Lebensjahres enthalten. Als Bandbreite gehen wir auch von einem VOSL von 1.5 bzw. 5.8

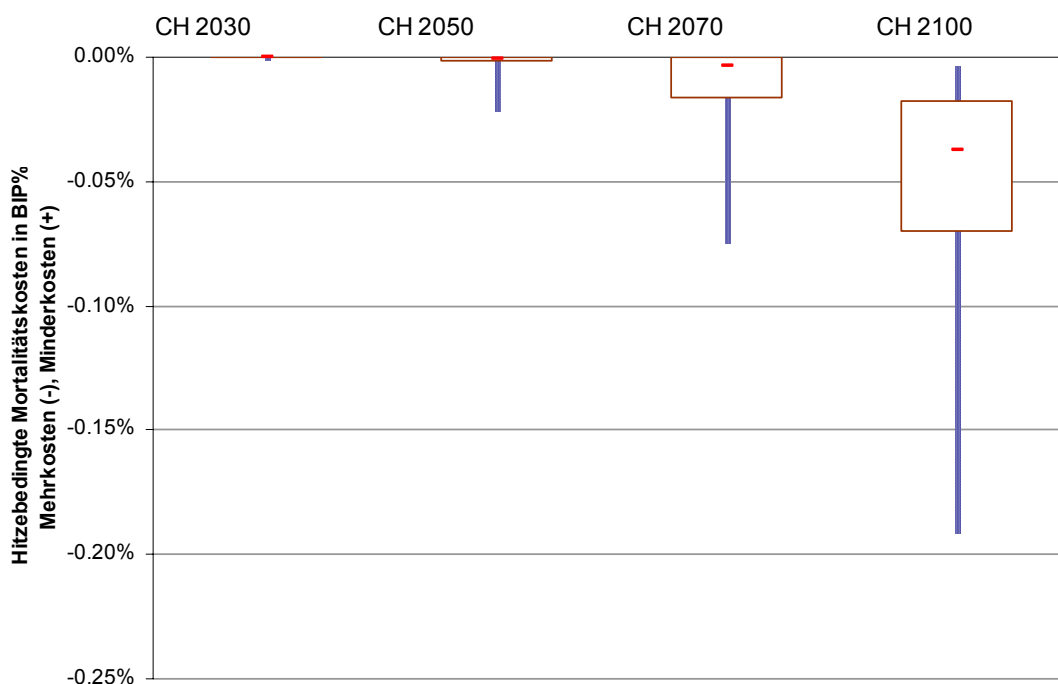
⁶⁷ Dies gilt bei einem Diskontsatz von 2%. Bei einem Diskontsatz von 1% bzw. 3% würde sich ein VLYL von 69'000 bzw. 103'000 CHF ergeben (wobei immer von einem Reallohnwachstum von 1% ausgegangen wird; zum Diskontsatz und zum Reallohnwachstum siehe Anhang E). Je höher der Diskontsatz, desto mehr werden künftige Lebensjahre abdiskontiert. Der Wert pro Lebensjahr muss deshalb bei höherem Diskontsatz höher sein, damit sich derselbe VOSL ergibt.

Mio. CHF aus, was ein VLYL von 43'000 bzw. 171'000 CHF ergibt. Der VLYL wird mit dem BIP indexiert (steigt also mit zunehmendem BIP).

- Verlorene Lebensjahre: Gemäss Grize et al. (2005) ist wahrscheinlich, dass ein Teil der hitzebedingten Todesfälle Menschen betrafen, die sich in gesundheitlich kritischem Zustand befanden und auch ohne Hitze in Kürze verstorben wären. Die massiv erhöhte Sterberate lässt sich aber nicht alleine mit diesen Fällen erklären, da in den Folgemonaten kein Kompensationseffekt beobachtet wurde. Bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre für die beiden Altersgruppen sind wir auf grobe Annahmen angewiesen. Wir wählen folgende Bandbreiten für die verlorenen Lebensjahre:
 - Altersgruppe 60 bis 79 Jahre: 1 bis 10 Jahre
 - Altersgruppe 80+: 0.5 bis 5 Jahre
- Für die Eintretenswahrscheinlichkeiten eines Hitzesommers 2003 gelten die Annahmen gemäss Ausführungen zu den hitzebedingten Leistungseinbussen.

Werden die Eintretenswahrscheinlichkeiten eines Hitzesommers 2003 für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100 berücksichtigt, so sind erst nach 2050 spürbare Schäden zu verzeichnen (vgl. Grafik 6-37). Für 2050 muss mit Einbussen aufgrund der hitzebedingten gestiegenen Mortalität von 0.001 BIP% gerechnet werden. Bis ins Jahr 2100 steigen die Schäden im Mittel auf rund 0.04 BIP% und bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von knapp über 0 bis 0.19 BIP% (95%-Vertrauensintervall).

Grafik 6-37: Hitzebedingte Mortalitätskosten in BIP%



Auswirkungen auf den gesamten Gesundheitsbereich – zusammenfassende Darstellung

Betrachten wir beide untersuchten Bereich (Leistungseinbussen und Mortalität) simultan, so erhalten wir folgende Resultate:

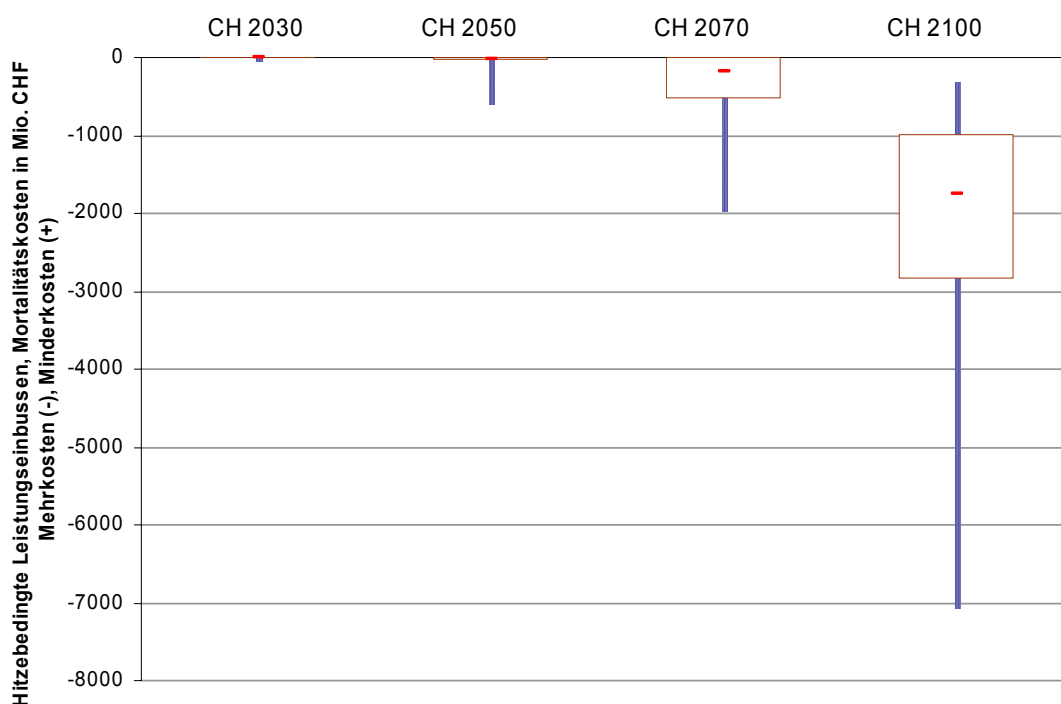
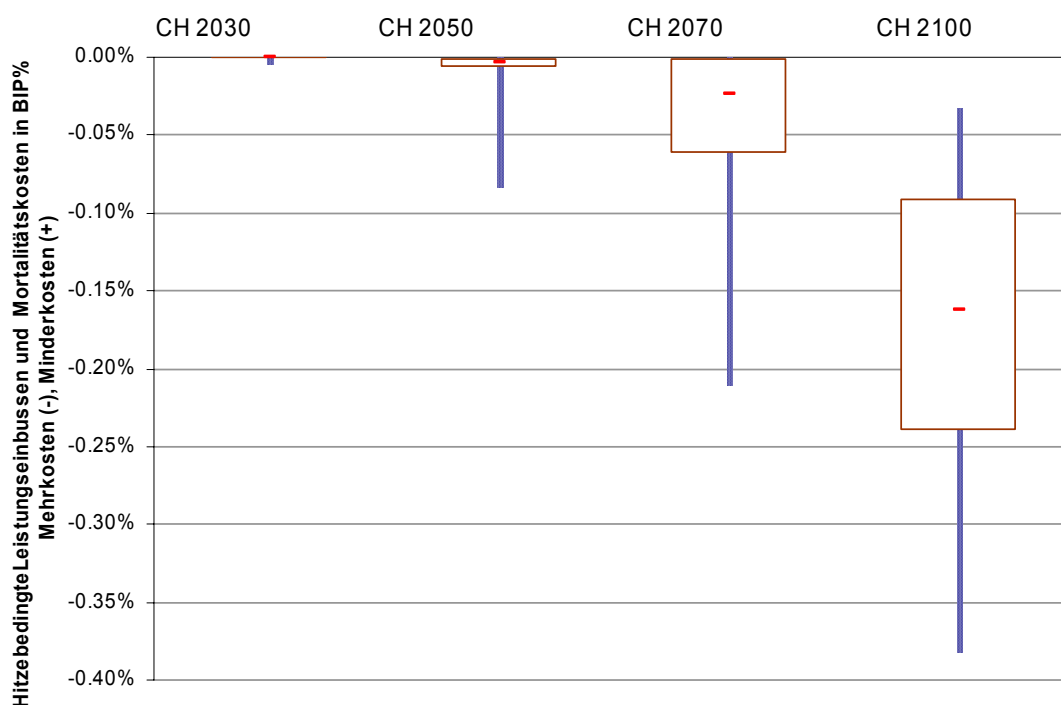
- Die Grafik 6-38 zeigt die Mehrkosten (mit negativem Vorzeichen) im Gesundheitsbereich in Mio. CHF/Jahr. Wir berechnen für die Jahre 2030 und 2050 keine massgeblichen klimabedingten Mehrkosten im Gesundheitsbereich. Bis 2100 steigen die Mehrkosten auf knapp 1800 Mio. CHF/Jahr. Die Unsicherheit ist allerdings beträchtlich und reicht von -300 bis knapp -7300 Mio. CHF/Jahr (95%-Vertrauensintervall).
- Die Grafik 6-39 zeigt die Mehrkosten im Gesundheitsbereich in BIP%⁶⁸. Für 2050 fallen die klimabedingten Mehrkosten im Gesundheitsbereich nicht ins Gewicht. Die Mehrkosten steigen dann aber bis 2100 auf 0.16 BIP% und bewegen sich für das Jahr 2100 in einer relativ grossen Bandbreite von 0.08 BIP% bis 0.92 BIP% (95%-Vertrauensintervall).

Würdigung der Resultate

Die Analyse zeigt, dass das vermehrte Auftreten von Hitzewellen zwar gesundheitliche Schäden nach sich zieht, der Erwartungsschaden ist aber auch im Jahr 2100 relativ gering. Dieses Resultat ergibt sich auch dann, wenn wir davon ausgehen, dass die Anpassungsmassnahmen wenig Wirkung zeigen (bspw. die Klimatisierung).

Grösser Unsicherheiten bestehen im Bereich der Leistungseinbussen und den allfälligen Spital- und Arztfolgekosten. Letztere wurden im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt. Nicht auszuschliessen ist allerdings, dass die Spital- und Arztfolgekosten hitzebedingt gar rückläufig sind, da die hitzebedingten vorzeitigen Sterbefälle vor allem Menschen betrifft, die bereits geschwächt sind. Generell sind dies auch diejenigen, die relativ hohe Kosten im Gesundheitswesen verursachen.

⁶⁸ Die BIP-Wachstumsraten wurden im Kapitel 4.2 als Bandbreite von 0.5% bis 2.0%/Jahr gewählt, mit einem Median von 0.9%/Jahr.

Grafik 6-38: Hitzebedingte Leistungseinbussen und Mortalitätskosten in Mio. CHF**Grafik 6-39: Hitzebedingte Leistungseinbussen und Mortalitätskosten in BIP%**

6.7 Wasserwirtschaft

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie rechnet mit geringeren und schwankenden Grundwasservorkommen und regionalen Engpässen in kleineren Gemeinden. Die NFP31-Studie rechnet mit Zusatzinvestitionen in die Wasserversorgung aufgrund von Trockenheitsereignissen. Der geschätzte Wiederbeschaffungswert der Zürcher Wasserversorgung (11 Mrd. CHF) wird auf die gesamte Schweiz hochgerechnet (77 Mrd. CHF). Es wird unterstellt, dass die Schweizer Wasserversorgung um 30% ausgebaut werden muss. Die Kosten dieser Massnahme betragen folglich 23.1 Mrd. CHF. Bei einer angenommenen Amortisation von 8% (Verzinsung 5%, Substanzerhaltung 3%) entstehen jährliche Zusatzaufwendungen von 185 Mio. CHF, bei Berücksichtigung zusätzlicher Betriebskosten: 200 Mio. CHF.

b) Resultate internationaler Studien

Die internationalen Studien zum Einfluss der Klimaerwärmung auf die Wasserwirtschaft sind für das Wasserschloss Schweiz nicht relevant, da sich diese Studien vor allem mit Ländern/Regionen befassen, in denen Wassermangel herrscht.

c) Schadenskosten für die Schweiz

Die Wasserwirtschaft umfasst alle Aktivitäten des Menschen zur Nutzung des Wassers, zum Schutz des Wassers und zum Schutz vor den Gefahren des Wassers. Teilaspekte, welche die Wasserwirtschaft betreffen, werden in dieser Studie an anderer Stelle diskutiert:

- Beeinträchtigung der Stromproduktion aufgrund reduziertem Wasserdargebots (vgl. Kapitel 6.5)
- Produktionseinbussen in der Landwirtschaft wegen Wassermangels (vgl. Kapitel 6.8)
- Hochwasserschäden (vgl. Kapitel 6.4)

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die Auswirkungen auf die Ökosysteme nicht thematisiert. Es verbleiben allfällige Kosten im Bereich der Wasserversorgung, die im Folgenden kurz beleuchtet wird.

Trinkwasserversorgung

Die Wasserversorgung wird künftig mit leicht tieferen Grundwasserständen rechnen müssen. Weiter wird mit einer Zunahme der Bedarfsspitzen im Sommer gerechnet (Gartenbewässerung). Im OcCC-Bericht werden Massnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit (Nutzung von Oberflächengewässer, der Ausbau von Verbundnetzen und die Erschliessung neuer Grundwasserressourcen) als mögliche zusätzliche Kosten der Klimaerwärmung erwähnt.

Klar ist, dass die heutigen Trinkwasserversorgungen in der Regel genügend Leistungskapazitäten haben, um eine allfällig zusätzliche Wassernachfrage zu befriedigen. In ländlichen, kleineren Gemeinden bspw., die viel grössere Schwankungen im Wasserkonsum haben als

grosse Gemeinden, ist das Wasserversorgungsnetz auf den Löschwasserbedarf ausgerichtet. Die Nachfrage nach Trinkwasser spielt für die Dimensionierung der gesamten Leitungssysteme keine Rolle. Im Leitungsnetz erwachsen generell keine Zusatzkosten bei einer zusätzlichen Wassernachfrage.

Die Erhöhung der Versorgungssicherheit über besser integrierte regionale Verbünde ist ebenfalls nicht von der Klimaänderung abhängig. Der Weiterausbau der Verbundnetze wird mit oder ohne Klimaänderung vorangetrieben.

Die Veränderungen im Wasserdargebot könnten vereinzelt dazu führen, dass zusätzliche Wasservorkommen erschlossen werden müssen. Wie hoch diese Kosten sind, lässt sich heute nicht beziffern, es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Kosten vergleichsweise unbedeutend sind.

6.8 Landwirtschaft

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Die NFP31-Studie rechnet – unter Vorbehalt – mit einem sehr geringen klimabedingten Wertschöpfungsverlust von 30 bis 70 Millionen Franken. Diese Schätzung wurde auf Basis einer speziell für den Landwirtschaftsbereich erstellten Studie gemacht.⁶⁹

b) Schadenskosten für die Schweiz

Schadenskostenschätzungen in der Landwirtschaft sind schwierig vorzunehmen, da sich die Struktur der heimischen Landwirtschaft in Zukunft massiv ändern wird – und dies unabhängig von der Klimaänderung. Eine Schadenskostenschätzung für die Zukunft müsste diese Veränderungen antizipieren. Generell kann Folgendes festgehalten werden:

- Eine moderate Klimaerwärmung von +2 bis +3°C dürfte sich allgemein positiv auf die Landwirtschaft auswirken (längere Vegetationsperiode).
- Bei einer stärkeren Klimaerwärmung werden die Nachteile allerdings überwiegen.
- Problematisch dürften die vermehrt auftretenden längeren Trockenperioden oder Hitzewelle sein. Der Hitzesommer 2003 hat Schäden im Umfang von 400 bis 500 Mio. CHF verursacht.

Aufgrund der rückläufigen Bedeutung des Sektors Landwirtschaft und der Möglichkeit sich den veränderten Bedingungen zumindest teilweise anzupassen (neue Anbauverfahren, Wechsel der Kulturpflanzen, Bewässerungssysteme, usw.) kann davon ausgegangen werden, dass die Schäden und Nutzen einer Klimaänderung nicht massiv sind.

⁶⁹ Flückiger St. D. (1996), Klimaänderungen: Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihrem Umfeld aus globaler, nationaler und regionaler Sicht.

6.9 Wald

a) Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie

Methodik und Resultate aus der NFP31-Studie Die NFP31-Studie ging von einer Verschlechterung der Standortgerechtigkeit der Waldbestände (Schaden: -50 Mio. CHF), einem punktuellen Anstieg der Waldgrenze (Nutzen: +10 Mio. CHF) und einer leichten Zunahme der Waldbrandgefahr in den Südtälern der Schweiz aus.

b) Schadenskosten für die Schweiz

Die in der NFP-Studie unterstellten Auswirkungen gelten grundsätzlich auch unter den aktualisierten Annahmen. Bei der Holzproduktion in der Schweiz wird bis 2050 mit einer klimabedingten Zunahme der Zwangsnutzung von bis zu 40 % gerechnet. Wenn es sich dabei örtlich um geschädigte Baumgruppen innerhalb gesunder Bestände handelt, steigen die Aufwendungen für die Holznutzung und der Ertrag sinkt. Der wirtschaftliche Schaden lässt sich heute noch nicht abschätzen. Wie weit sich diese Schäden auf die Schutzfunktionen der Wälder auswirken, ist noch nicht bekannt. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die Schäden bei entsprechenden Anpassungsstrategien im Rahmen halten. Allerdings werden die generell erwarteten extremeren Witterungsereignisse mehr Spitzen beim Holzanfall mit Zwangsnutzungen erzeugen, was zu Problemen mit den verfügbaren Ressourcen (Personal, Maschinen) führen kann.

Die beste Anpassungsstrategie wird darin bestehen, dass mit einer guten, lokal gesicherten Baumartenmischung auf die Unsicherheiten der klimatischen Risiken reagiert wird.

6.10 Nicht berücksichtigte Effekte

Die Aussagen in diesem Bericht stützen sich namentlich auf den OccC-Bericht 2007 und damit im Wesentlichen auf den Stand des Wissens gemäss IPCC. Daher wird angenommen, dass bis 2050 keine zusätzlichen Veränderungen auftreten werden, welche das heutige klimatische System der Erde grundlegend in Frage stellen würden, sei es bspw. durch eine starke Abschwächung der nordatlantischen Zirkulation oder ein ähnlich dramatisches Vorzeichen.

Im vorliegenden Bericht nicht berücksichtigt sind namentlich auch Extremereignisse, welche bisher bekannte Grössenordnungen bei Weitem überschreiten würden. Dazu gehören beispielsweise Witterungsereignisse, welche aufgrund des unerwarteten völligen Versagens von Schutzmassnahmen zu verheerenden Auswirkungen führen könnten.

Weiter wurde auch die Landschaftsveränderung (hier vor allem der Gletscherrückgang) nicht bewertet. Die heutige Gletscherlandschaft hat für die heutige Generation einen gewissen Wert, der allerdings mit einer aufwändigen Zahlungsbereitschaftsbefragung erhoben werden müsste. Allerdings darf aus der Zahlungsbereitschaft der heutigen Generation nicht auf die Zahlungsbereitschaft der im Jahr 2050 lebenden Generationen geschlossen werden.

Auch die Auswirkungen auf die Ökosysteme (sowohl positive wie negative) wurden im Rahmen dieser Studie nicht thematisiert.

Die vorliegenden Berechnungen gehen von der Annahme aus, dass die notwendigen Anpassungsstrategien zur Verminderung der negativen Auswirkungen rechtzeitig eingeleitet werden. Welche Hindernisse sich hier ergeben, wurde nicht thematisiert.

7 Schadenskosten für die Schweiz im Überblick

7.1 Klimabedingter Gesamtschaden

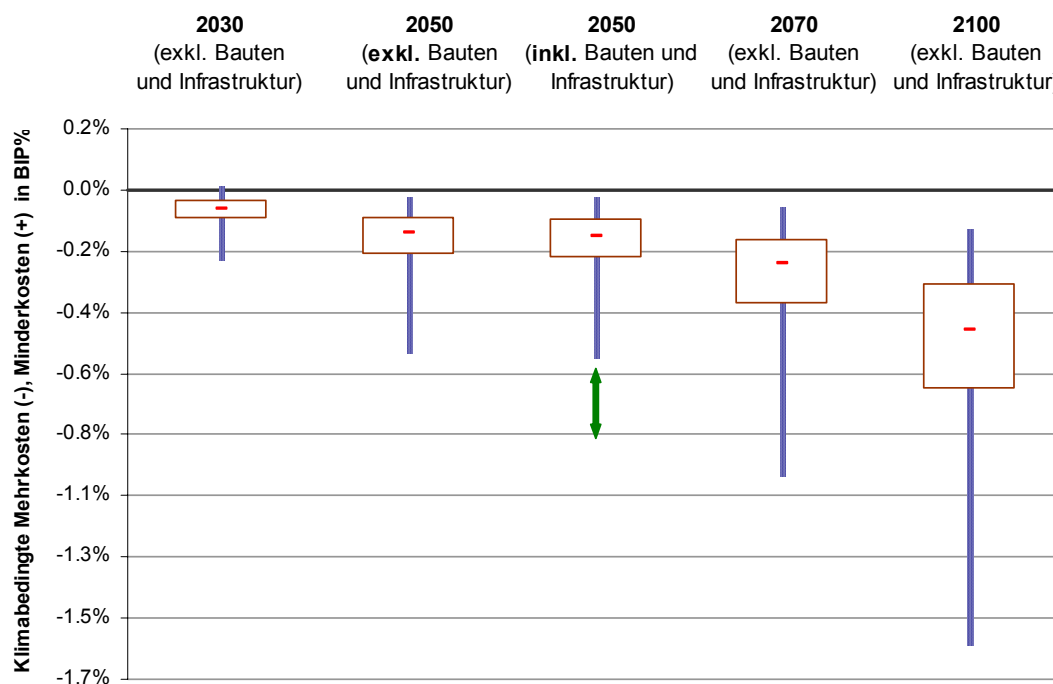
7.1.1 Klimabedingter Gesamtschaden für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100

Die nachfolgenden Ausführungen zu den klimabedingten Schäden beziehen sich auf die nationalen Einflüsse. Welche Auswirkungen der Schweiz aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten erwachsen, wird in einer weiteren Studie durch die Arbeitsgemeinschaft Infrac/Ecologic/Rütter+Partner analysiert. Einzig bei den Kosten im Tourismus wurde in dieser Studie die Verflechtung über die internationalen Märkte in die Berechnungen miteinbezogen. Weiter konnten die Schäden aus Bauten und Infrastruktur nur für das Jahr 2050 erhoben werden. Die ausgewiesenen Schäden für die Jahre 2030, 2070 und 2100 verstehen sich also ohne die Schäden an Bauten und Infrastruktur.

Klimabedingte Folgeschäden nehmen ab 2050 stark zu

Bis 2030 sind kaum klimabedingte Schäden grösseren Ausmasses zu erwarten (vgl. Grafik 7-1). Der erwartete mittlere Schaden für das Jahr 2030 liegt unter 0.1 BIP% (Median exkl. Schäden an Bauten und Infrastruktur). Auch die Bandbreite der Unsicherheit ist für das Jahr 2030 relativ gering. Bis zum Jahr 2050 steigt der mittlere Schaden dann auf rund 0.15 BIP% (hier inkl. Bauten und Infrastruktur). Auch die Unsicherheit wächst beträchtlich, so können im Jahr 2050 im Maximum Schäden bis zu knapp 0.6% BIP% auftreten (97.5%-Wert).

Grafik 7-1: Schadenskosten der Klimaänderung für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100



↑ Schadenskosten gemäss NFP31-Studie für 2050 (Bezugsjahr 1995)

Die Schadenskosten steigen nach 2050 deutlich an. Der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 liegt bei 0.48 BIP% (exkl. Bauten und Infrastruktur). Zu beachten ist die riesige Bandbreite der möglichen Schadensentwicklung. Im Jahr 2100 reicht die Bandbreite der möglichen Schäden von bescheidenen 0.14 BIP% bis zu massiven Schäden von 1.56 BIP%.

Tourismus und Energiebereich am meisten von Klimaänderung betroffen

Im Tourismus und im Energiebereich sind die grössten klimabedingten Wohlfahrtseinbussen bzw. Schäden zu erwarten (vgl. Grafik 7-2). Der mittlere Erwartungsschaden ist im Energiebereich am grössten, dies trotz den positiven Effekten aufgrund von wärmeren Wintern und weniger Heizenergiebedarf. Für die negativen Auswirkungen im Energiebereich sind vor allem die Verluste bei der Stromproduktion in Wasserkraftwerken und die vermehrte Klimatisierung im Wohn- und Arbeitsbereich verantwortlich. Die stark steigenden Ausgaben für die Klimatisierung sind als Anpassungskosten zu verstehen, die verhindern, dass vor allem im Bereich der menschlichen Gesundheit nicht grössere Schäden entstehen. Der mittlere Erwartungsschaden im Tourismusbereich liegt zwar unter demjenigen für Energie, aber die Bandbreite der Unsicherheit ist grösser. Im Tourismusbereich ist zu erwähnen, dass die Anpassungskosten und auch die positiven Auswirkungen aufgrund der verbesserten internationalen Standortattraktivität im Sommertourismus nicht berücksichtigt wurden.

Im Bereich der menschlichen Gesundheit (klimabedingte vorzeitige Sterbefälle und Leistungseinbussen im Arbeitsprozess) sind erst nach dem Jahr 2050 spürbare Schäden zu erwarten. Allerdings nehmen diese dann bis zum Jahr 2100 relativ rasch zu. Nicht berücksichtigt wurden natürliche Anpassungsprozesse des menschlichen Körpers an die höheren Temperaturen. Dass sich der Mensch auf höhere Temperaturen einstellen kann, ist unbestritten, das Ausmass ist allerdings heute noch unklar. Unter Beachtung solcher natürlicher Anpassungsprozesse würden die Schadensschätzungen tiefer ausfallen.

Der Bereich Bauten und Infrastruktur konnte aufgrund der verfügbaren Daten einzig für das Jahr 2050 bestimmt werden. Wir berechnen eine Bandbreite der möglichen Erwartungsschäden von nahe 0 bis knapp 0.02 BIP%. Die Schäden bei den Bauten und der Infrastruktur sind vor allem auf Hochwasser/Überschwemmungen und Murgänge zurückzuführen. Für die Schadensschätzung im Bereich Bauten und Infrastruktur konnten die eventuell höhere Unterhaltskosten als auch die allfällige grössere Investitionen in die Gefahrenprävention noch nicht beziffert werden und sind in der vorliegenden Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

Aktuelle Schadensschätzung liegt unter den bisherigen Schätzungen

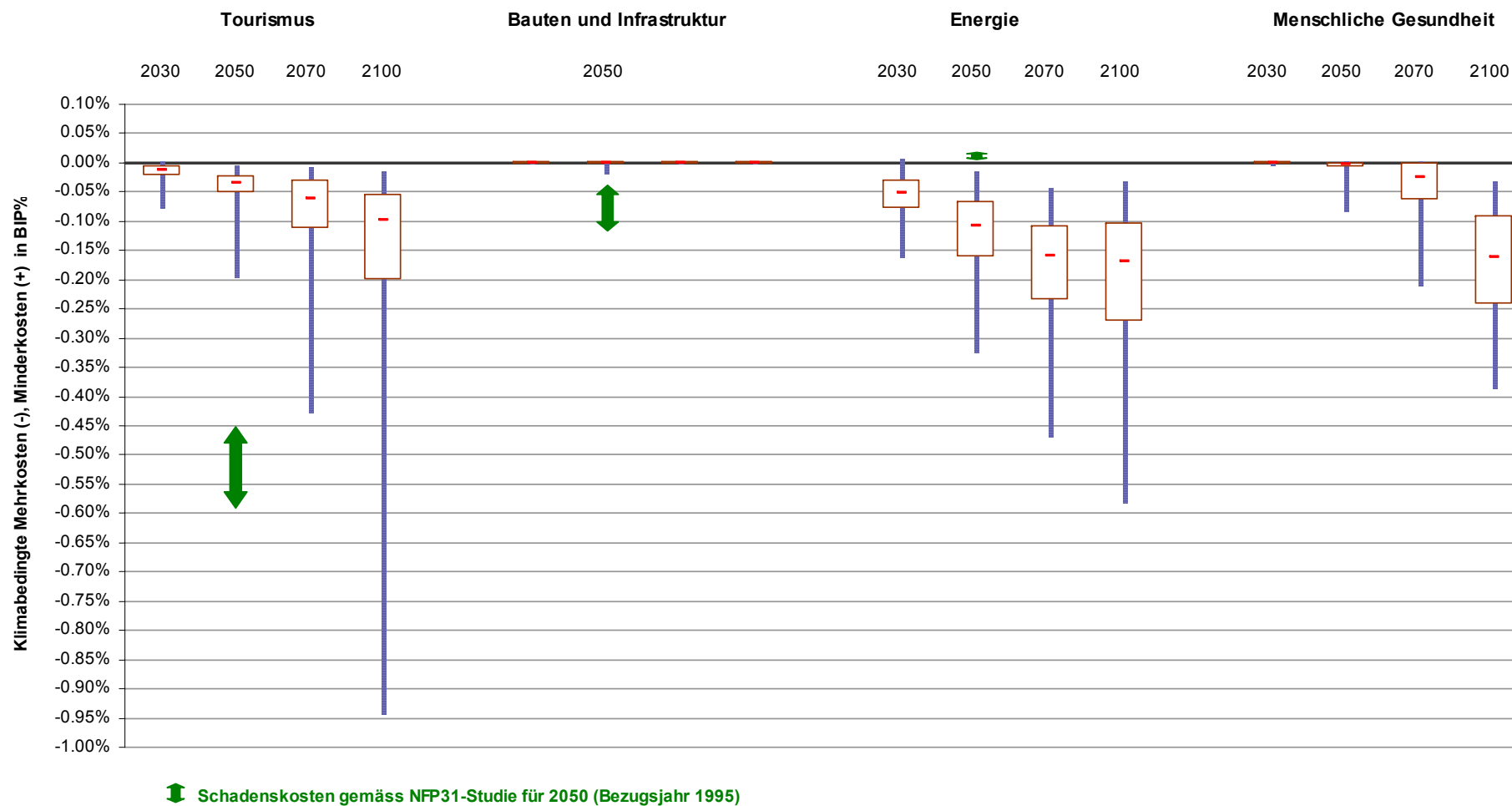
Die vorliegende Schätzung der klimabedingten Gesamtschäden ist tiefer als die in der NFP31-Studie vorgenommenen Schätzungen (vgl. Grafik 7-1). Der Erwartungsschaden für das Jahr 2050 beläuft sich gemäss den Berechnungen der vorliegenden Studie auf gut 0.15 BIP%. Die NFP31-Studie beziffert die klimabedingten Schäden auf 0.58 bis 0.81 BIP% (ohne die Kosten für die zusätzliche Migration), liegt damit knapp ausserhalb der Bandbreite der vorliegenden Studie. Der in der NFP31 ausgewiesene klimabedingte Schaden für das Jahr 2050 liegt im Bereich der Schäden, den wir in der vorliegenden Studie für das Jahr 2100 berechnen. Vergleichen wir die einzelnen Schadensbereiche (vgl. Grafik 7-2), so kommen die

beiden Studien allerdings zu unterschiedlichen Gewichtungen. Grössere Differenzen stellen wir in den Bereichen Tourismus und Energie fest: Im Tourismus rechnet die vorliegende Studie mit tieferen Schadenskosten (zumindest für das Jahr 2050) während die klimabedingten Schäden im Energiebereich im Vergleich zur NFP31-Studie deutlich höher ausfallen. In beiden Bereichen liegen neuere Grundlagenstudien vor, die zu einer anderen differenzierteren Einschätzung führen:

- Im Tourismusbereich zeigt die Studie OECD/Abegg (2007), dass der Angebotsrückgang im Wintertourismus nicht so bedeutend ausfällt, wie in der NFP31-Studie angenommen. Weiter zeigt die OECD/Abegg (2007) auch, dass sich die relative Wettbewerbsposition des Schweizer Wintertourismus verbessert, da der schneeabhängige Wintertourismus in der Schweiz relativ weniger stark betroffen ist als in unseren Nachbarländern.

Ein wesentlicher Grund für die tieferen Schadenskosten im Wintertourismus liegt auch darin, dass in der vorliegenden Studie angenommen wird, dass die gesamten Ausgaben der Haushalte für Freizeitaktivitäten nicht sinken: Das von den Haushalten nicht mehr für schneeabhängigen Wintertourismus ausgegebene Geld wird anderweitig eingesetzt und geht dem Wirtschaftskreislauf nicht verloren. Obwohl wir unterstellen, dass in erster Linie vermehrt ins Ausland gereist wird (Ferienreisen), wird ein Teil dieses Geldes für andere Freizeitaktivitäten, u.a. auch in der Schweiz, eingesetzt.

- Die im Vergleich zur NFP31-Studie deutlich höheren Energiekosten der vorliegenden Berechnungen erklären sich aus den Mehrkosten für die Klimatisierung von Gebäuden und der Stromproduktionseinbusse bei den Wasserkraftwerken. Beide Effekte wurden im Rahmen der aktuellen Energieperspektiven 2035 des Bundesamts für Energie detailliert untersucht.

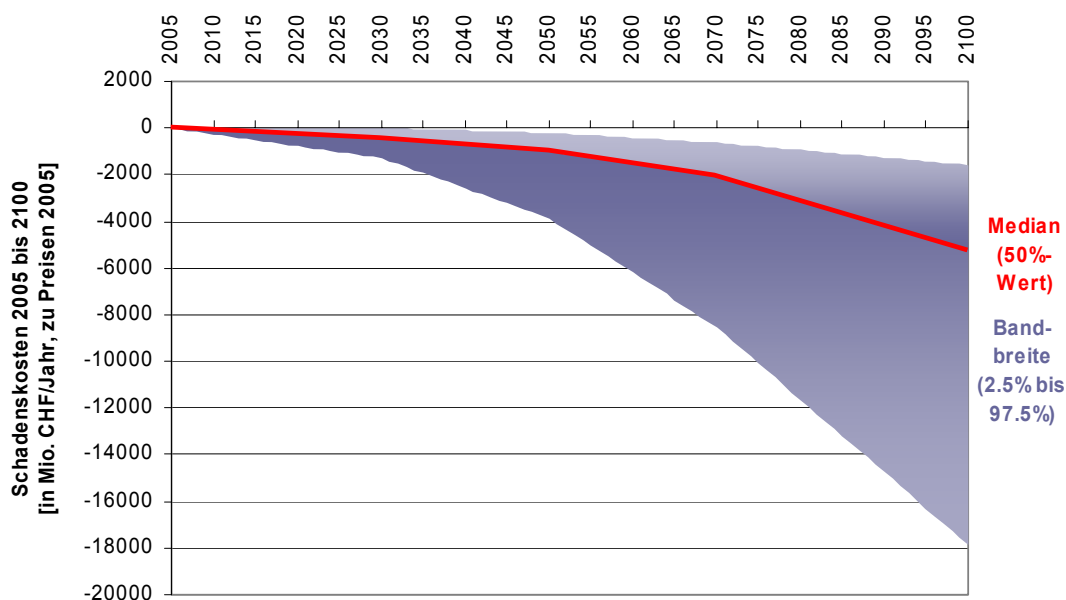
Grafik 7-2: Schadenskosten der Klimaänderung für die Jahre 2030, 2050, 2070 und 2100 nach den wichtigsten Bereichen

7.1.2 Kumulierter klimabedingter Gesamtschaden für 2005 bis 2100

Bisher haben wir die klimabedingten Schäden in Prozentpunkten des BIP dargestellt. Diese Darstellung setzt die klimabedingten Schäden in einen Kontext, der eine Einordnung der Grössenordnung der Schäden erlaubt. Teilweise werden in internationalen Studien auch absolute Schäden, also Schäden in Mio. CHF, berechnet und kommuniziert.⁷⁰ Nachfolgend berechnen wir den kumulierten Gesamtschaden und die daraus abgeleiteten durchschnittlichen jährlichen Schäden. Da wir für die Bauten und Infrastruktur einzig den Wert für 2050 berechnen konnten und sich die nachfolgenden Berechnungen und Grafiken auf einen Zeitraum von 2005 bis 2100 beziehen, konnten wir die klimabedingten Schäden im Bereich der Bauten und Infrastruktur in den nachfolgenden Ausführungen nicht einbeziehen.

Die klimabedingten Schadenskosten sind bis 2030 nicht nur in BIP%, sondern auch in Mio. CHF moderat (vgl. Grafik 7-3): Für das Jahr 2030 rechnen wir mit einem klimabedingten Erwartungsschaden von ungefähr 350 Mio. CHF (Median), die Bandbreite reicht von keinen Schäden bis 1'300 Mio. CHF (95%-Vertrauensintervall). Für das Jahr 2050 werden Schäden im Umfang von 1000 Mio. CHF (Median) erwartet, mit einer Bandbreite von 200 bis 3700 Mio. CHF. Deutlich grössere Schäden sind erst nach dem Jahr 2050 zu erwarten: Bis 2100 wachsen die Schäden auf 5300 Mio. CHF, mit einem sehr grossen Unsicherheitsbereich von 1600 bis knapp 18'000 Mio. CHF.

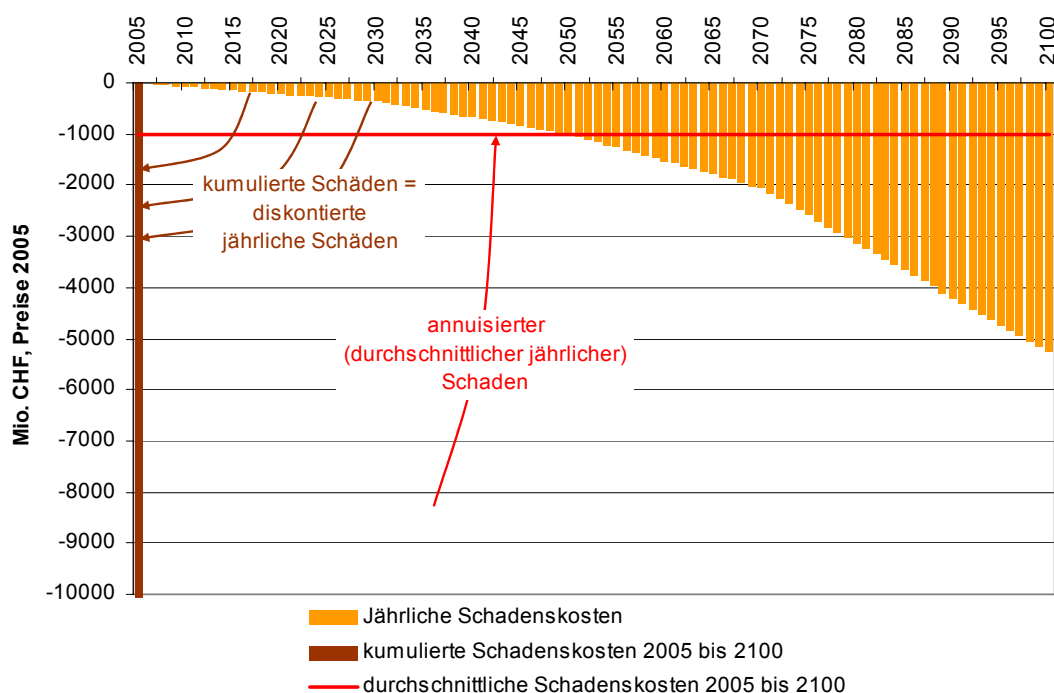
Grafik 7-3: Verlauf der jährlichen Schadenskosten (Median und Bandbreite) 2005 bis 2100



⁷⁰ Bspw. die Spiegel-Schlagzeile zur Studie von Kempfert: „3.000.000.000.000 Euro zahlen Deutsche für die Klimakatastrophe“, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,471688,00.html>, am 18. Mai 2007.

Wie man die berechneten jährlichen Schäden für die Jahre 2005 bis 2100 kumuliert und die durchschnittlichen jährlichen klimabedingten Schäden berechnet, zeigt die Grafik 7-4. Die jährlichen Schadenskosten werden Jahr für Jahr mit einer zu wählenden Diskontrate diskontiert und kumuliert. Die kumulierten Schadenskosten entsprechen also den gesamten in der Periode 2005 bis 2100 anfallenden Schäden und sind abhängig von der Diskontrate. Aus den kumulierten Schadenskosten lassen sich die durchschnittlichen jährlichen Schadenskosten für die gesamte Periode 2005 bis 2100 bestimmen.

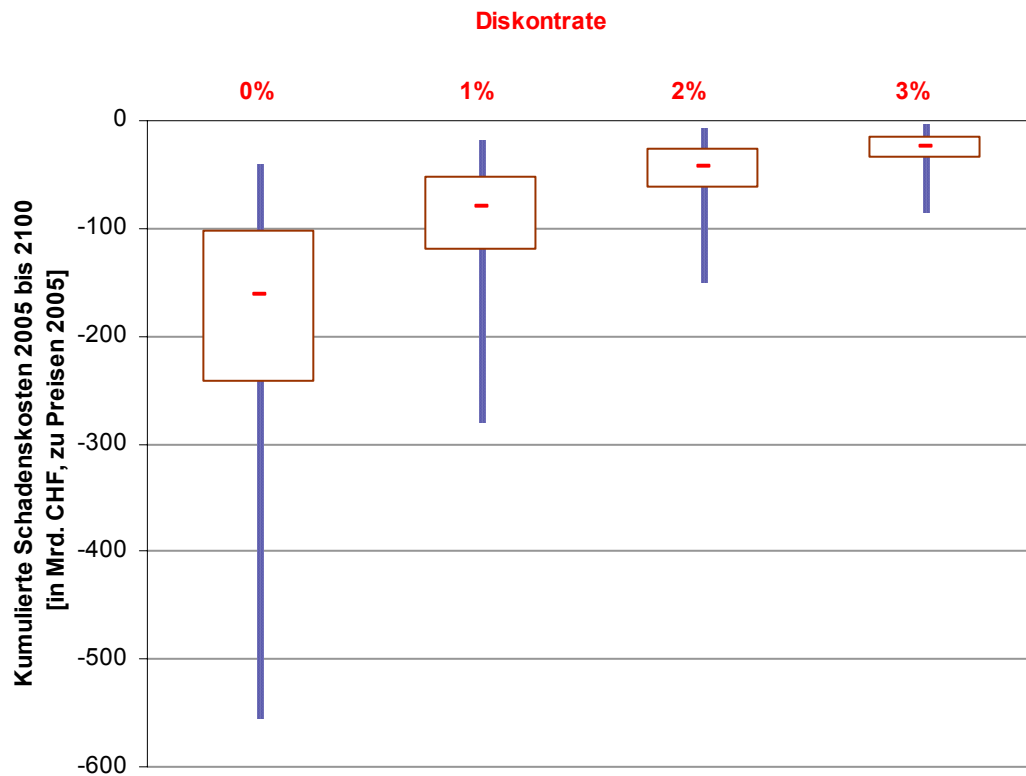
Grafik 7-4: Von den jährlichen Schadenskosten zu den kumulierten und den durchschnittlich jährlichen Schadenskosten



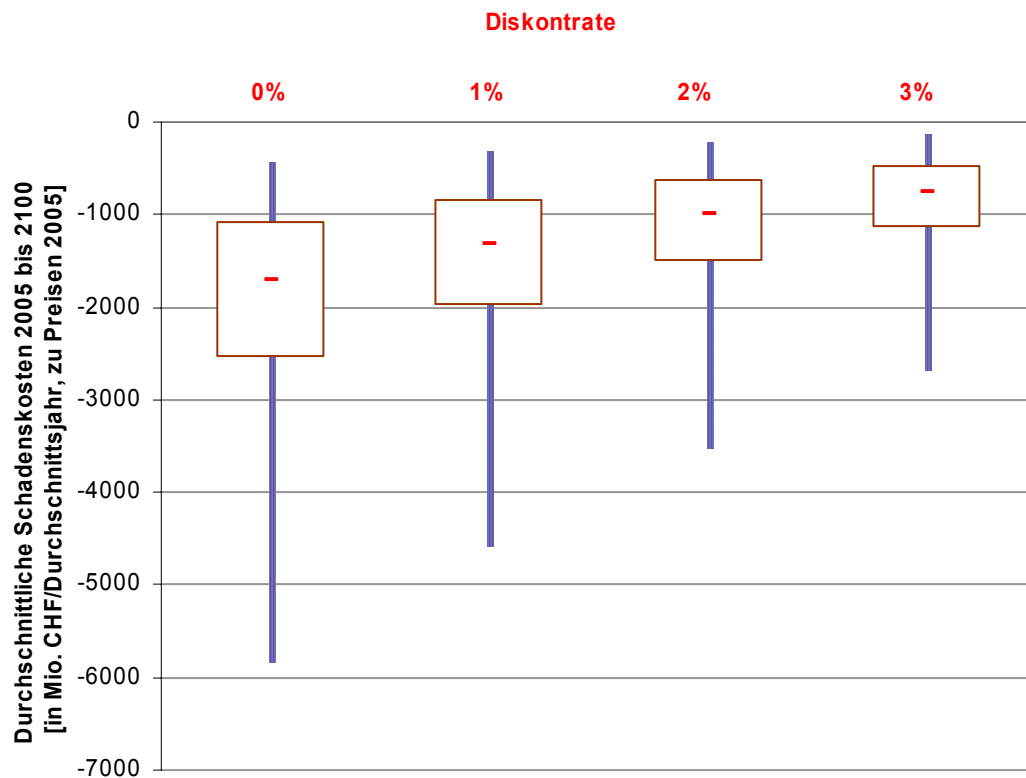
Der kumulierte Gesamtschaden für die Jahre 2005 bis 2100 beträgt je nach Diskontrate zwischen 23 Mrd. CHF (Diskontrate von 3%) und 160 Mrd. CHF (Diskontrate von 0%), vgl. dazu die Grafik 7-5. Bei einer Diskontrate von 3% wird ein Schaden von 100 CHF im Jahr 2100 aus der Sicht des Jahres 2005 mit 6 CHF bewertet – bei 2% Diskontrate mit 15 CHF, bei 1% Diskontrate mit 40 CHF und bei 0% Diskontrate natürlich mit 100 CHF. Dies erklärt den grossen Einfluss der Diskontrate auf den kumulierten Schaden. Auch beim kumulierten Gesamtschaden ist die grosse Unsicherheit – sprich die grosse Bandbreite – zu erwähnen: Bei einer Diskontrate von 0% beträgt die Bandbreite des kumulierten Schadens 40 bis 550 Mrd. CHF.

Der durchschnittliche jährliche Schaden für die Periode 2005 bis 2100 beträgt je nach Diskontrate zwischen 750 Mio. CHF (Diskontrate von 3%) und 1700 Mio. CHF (Diskontrate von 0%), vgl. dazu die Grafik 7-6. Auch hier sei auf die grosse Unsicherheit hingewiesen.

Grafik 7-5: Kumulierter Gesamtschaden 2005 bis 2100 in Mrd. CHF



Grafik 7-6: Durchschnittlich jährlicher Gesamtschaden für die Periode 2005 bis 2100



7.2 Grenzschadenskosten

Im vorgängigen Kapitel haben wir die gesamten klimabedingten Schäden ausgewiesen. Ein gewisses Mass der Klimaänderung ist nach heutigem Erkenntnisstand bereits unvermeidlich. Selbst wenn die heutigen Treibhausgasemissionen auf dem Stand des Jahres 2000 „eingefroren“ würden, rechnet man global mit einem Temperaturanstieg bis 2100 von über 0.5°C (vgl. Grafik 7-12). Die klimapolitischen Massnahmen (die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht thematisiert werden) müssen sich an den Grenzschadenskosten, also an den zusätzlichen Schadenskosten, ausrichten und nicht an den absoluten Schadenskosten. Im Rahmen dieses Kapitels berechnen wir die Grenzschadenskosten auf zwei Bezugsgrössen:

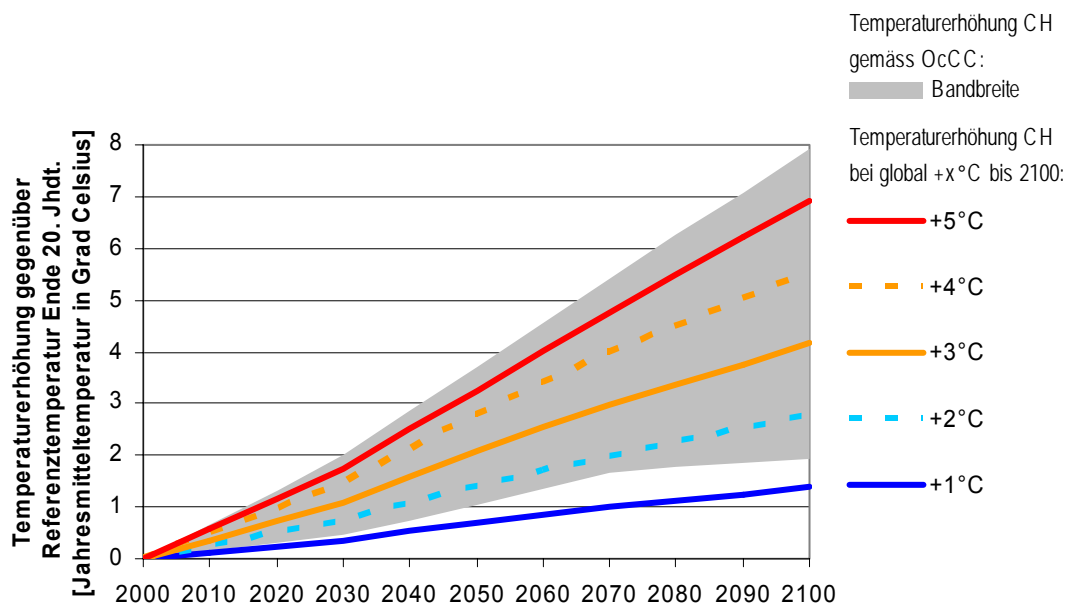
- Grenzschadenskosten pro Grad globaler Temperaturerhöhung (vgl. Kapitel 7.2.1): Hier wird aufgezeigt, mit welchen zusätzlichen Schäden bei einer globalen Temperaturerhöhung von 0°C auf +1°C, von +1°C auf +2°C, usw. zu rechnen ist.
- Grenzschadenskosten pro Tonne CO₂ (vgl. Kapitel 7.2.2): Diese Berechnung der Grenzschadenskosten dient rein illustrativen Zwecken, da sich die Grenzschadenskosten pro Tonne CO₂ grundsätzlich nur auf der globalen Ebene bestimmen lassen. Diese Berechnungen haben wir durchgeführt, um die Schweizer Schadenszahlen mit den globalen Schadenszahlen zu vergleichen und einen Hinweis zu erhalten, ob die Schweiz im Vergleich mit den globalen Schadenszahlen über- oder unterdurchschnittlich von der Klimaänderung betroffen ist.

7.2.1 Grenzschadenskosten pro Grad globaler Temperaturerhöhung

Wollen wir die zusätzlichen Schäden in der Schweiz als Reaktion der globalen Temperaturerhöhung berechnen, ist eine Annahme bzgl. der Reaktion der Schweizer Temperaturerhöhung auf die globale Erwärmung zu treffen. Der Vergleich der globalen Erwärmung gemäss den Szenarien von Wigley/Raper mit den Schweizer Szenarien (Frei (2004)), welche die Basis waren für den OcCC-Bericht, zeigt, dass die Schweizer Temperaturen stärker auf die Klimaänderung reagieren als die globalen Durchschnittstemperaturen. Vergleichen wir die Medianentwicklung des Szenariensets von Wigley/Raper mit den Szenarien von Frei (2004), so können wir unterstellen, dass bei einer globalen Temperaturerhöhung von 1°C die Erwärmung in der Schweiz rund 1.4°C steigt. Konkret haben wir folgende Beziehung unterstellt: *Globale Erwärmung * 1.39 = CH-Erwärmung*.

Die nachfolgende Grafik 7-7 zeigt zum einen die Entwicklung gemäss OcCC-Bericht: Der graue Bereich (2.5%- und den 97.5%-Wert) zeigt die Bandbreite der Temperaturerhöhungen für die Schweiz, welche dem OcCC-Bericht zugrunde gelegt wurde.⁷¹ Die Medianentwicklung der Schweizer OcCC-Szenarien entspricht dabei der Median-Entwicklung gemäss Wigley/Raper, also einer globalen Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2100 um 3°C. Zum andern werden die unterstellten Entwicklungen der Temperaturänderung der Schweiz als Reaktion auf eine globale Temperaturerhöhung von +1°C bis +5°C dargestellt.

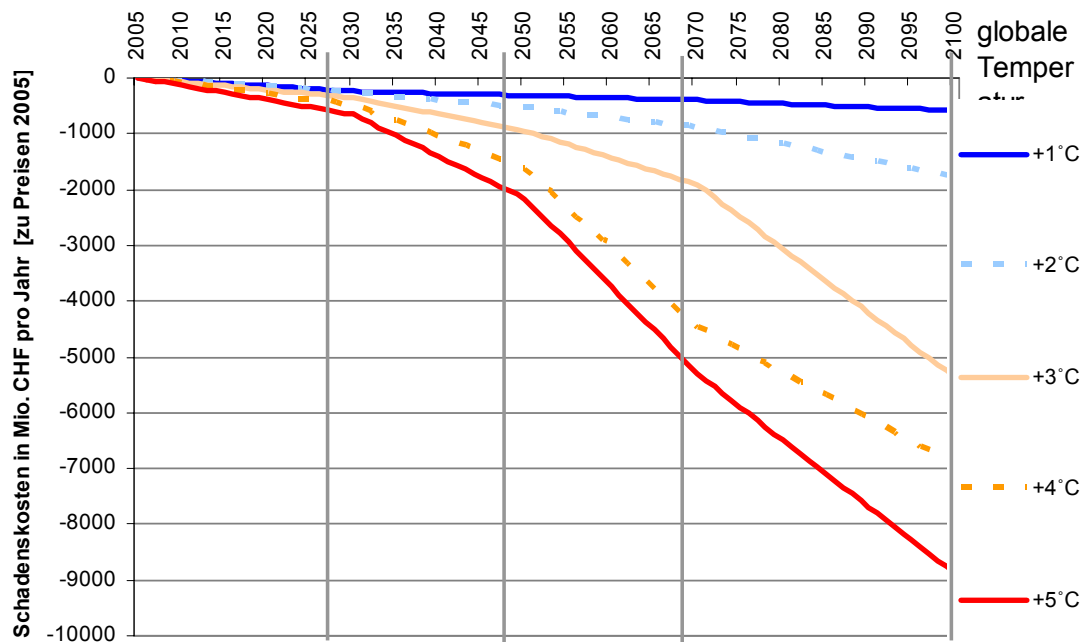
⁷¹ Für die Jahre nach 2070 wurden die Schweizer Werte anhand der globalen Entwicklung gemäss Wigley/Raper extrapoliert.

Grafik 7-7: Temperaturen in der Schweiz steigen stärker als Globaltemperaturen

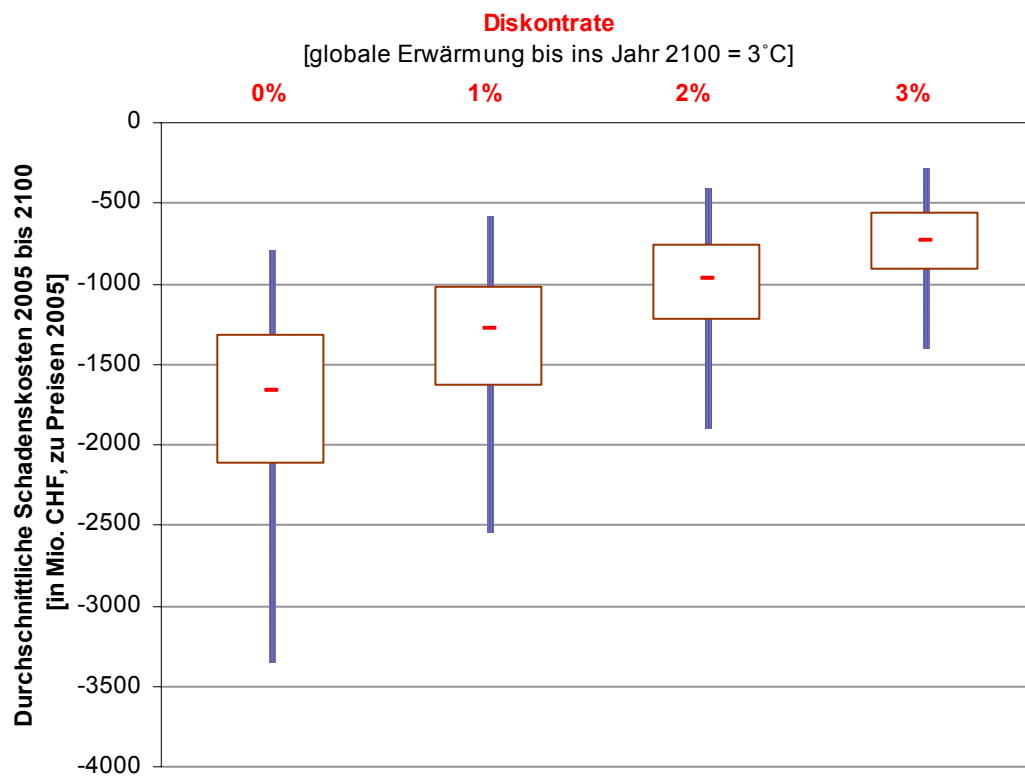
Für die Winter- und Sommertemperaturänderungen wurde dieselbe Beziehung unterstellt wie für die Jahresmitteltemperatur.⁷² Auf Basis dieser fix vorgegebenen Temperaturentwicklungen wurden die Schadenskosten berechnet. Die Grafik 7-8 zeigt den Verlauf der Schadenskosten der Schweiz in Abhängigkeit der globalen Temperaturerhöhung. Aus der Grafik lässt sich bereits erahnen, dass eine globale Temperaturerhöhung bis +2°C für die Schweiz zu relativ geringen Folgeschäden führt, bei einer noch stärkeren globalen Erwärmung dann aber die Schäden in der Schweiz stark zunehmen. Aus diesen Schadenskostenverläufen lassen sich die durchschnittlichen jährlichen Schadenskosten berechnen (vgl. dazu die Ausführungen im vorgängigen Kapitel 7.1.2). Diese sind von der gewählten Diskontrate abhängig, wie Grafik 7-9 zeigt. Im Unterschied zu den vorgängigen Berechnungen des Gesamtschadens wird in diesen nachfolgenden Berechnungen eine fixe Temperaturänderung – ohne Bandbreite bzw. Unsicherheitsbereich – vorgegeben. Die ausgewiesenen Bandbreiten zeigen also alleine die Unsicherheiten, welche auf die unsicheren Annahmen zur Monetarisierung der Schadenskosten zurückzuführen sind (bspw. Unsicherheit bzgl. der gekühlten Wohnfläche, usw.). Ein Vergleich der Grafik 7-6 (Bandbreite inkl. unsichere Temperaturentwicklung) und der Grafik 7-9 (Bandbreite mit fix vorgegebener Temperaturentwicklung) zeigt, dass die Unsicherheit der im Kapitel 7.1 aufgezeigten Schäden zu mehr als 40% auf die unsichere Temperaturentwicklung zurückzuführen ist, die restlichen 60% auf die unsicheren Monetarisierungsannahmen und die unsichere wirtschaftliche Entwicklung.

⁷² Eine Differenzierung in Sommer- und Wintertemperaturen ist nötig, da bestimmte Schadenskosten von den Sommertemperaturen (bspw. vermehrte Klimatisierung) und andere von den Wintertemperaturen (bspw. weniger Heizbedarf) abhängen.

Grafik 7-8: Verlauf der Schadenskosten (Median) der Schweiz in Abhängigkeit der globalen Temperaturerhöhung



Grafik 7-9: Durchschnittliche jährliche Schadenskosten abhängig von Diskontrate (am Beispiel einer globalen Erwärmung von 3°C bis 2100)



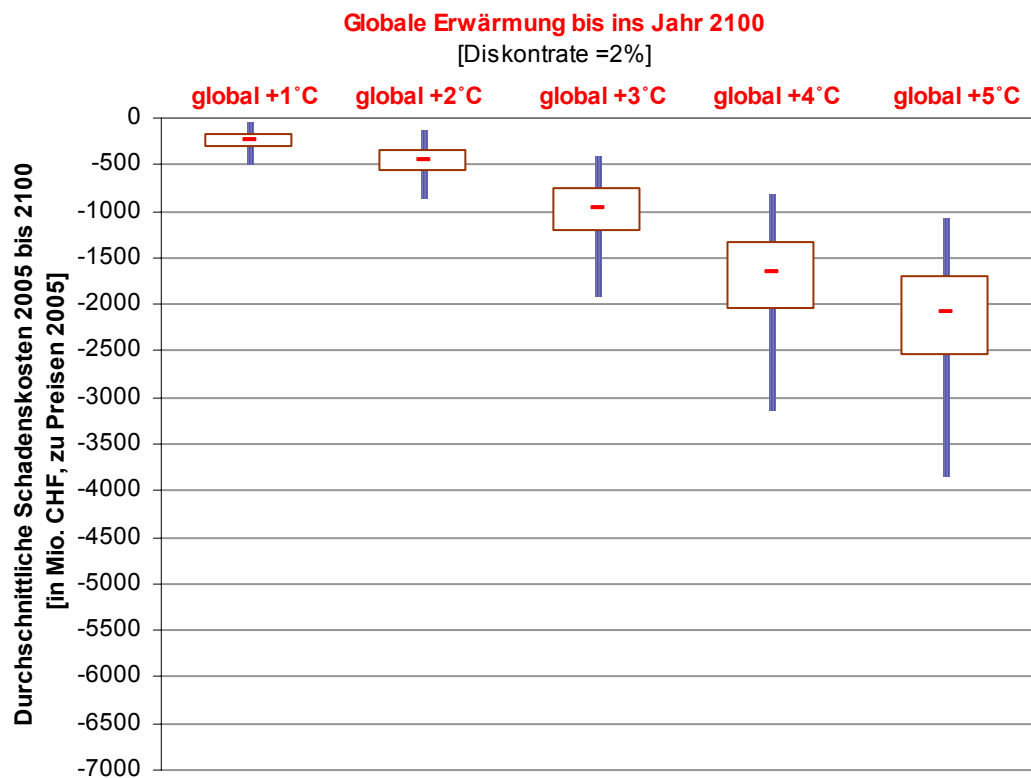
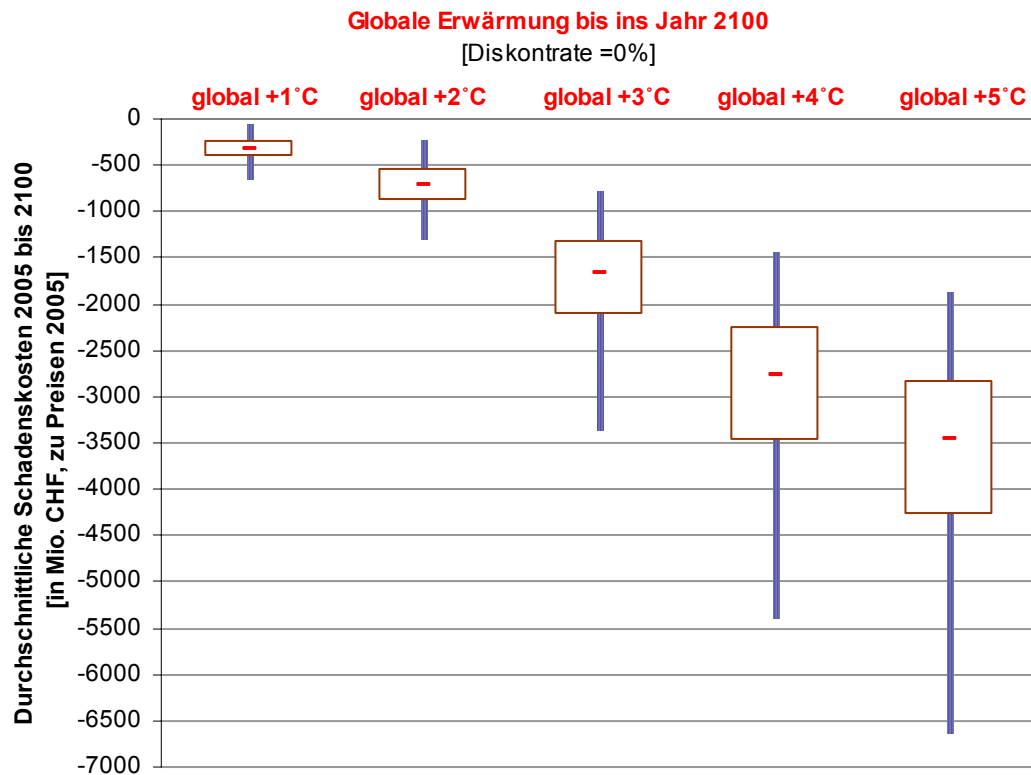
Die nachfolgende Grafik 7-10 zeigt die durchschnittlichen jährlichen Schäden der Periode 2005 bis 2100 für die Schweiz in Abhängigkeit der globalen Temperaturerhöhung bis 2100. Die Grafik zeigt die Resultate für eine Diskontrate von 0% (obere Grafik) und für eine Diskontrate von 2% (untere Grafik). Wie schon erwähnt, sind die durchschnittlichen jährlichen Schäden bei einer unterstellten Diskontrate von 2% geringer als bei einem undiskontierten Durchschnitt (Diskontrate = 0%). Die Grafik 7-10 zeigt weiter, dass – nicht erstaunlich – die Schäden mit höheren Temperaturen wachsen.

Aus der Differenz der durchschnittlichen jährlichen Schäden lassen sich die zusätzlichen Schäden für jeweils 1°C Temperaturerhöhung berechnen (Grafik 7-11). Eine globale Temperaturerhöhung im Jahr 2100 von 0°C auf +1°C und von +1°C auf +2°C ist mit relativ moderaten Grenzschaadenskosten verbunden: 150 bzw. knapp 400 Mio. CHF jährlich bei einer Diskontrate von 0%, respektive rund je 200 Mio. CHF bei einer Diskontrate von 2%. Diese relativ moderaten Grenzschaadens bei einer geringen globalen Temperaturerhöhung lassen sich dadurch erklären, dass die beiden wichtigen Schaadensbereiche Tourismus und menschliche Gesundheit bis zu einer globalen Temperaturerhöhung von +2°C für die Schweiz relativ moderat ausfallen.

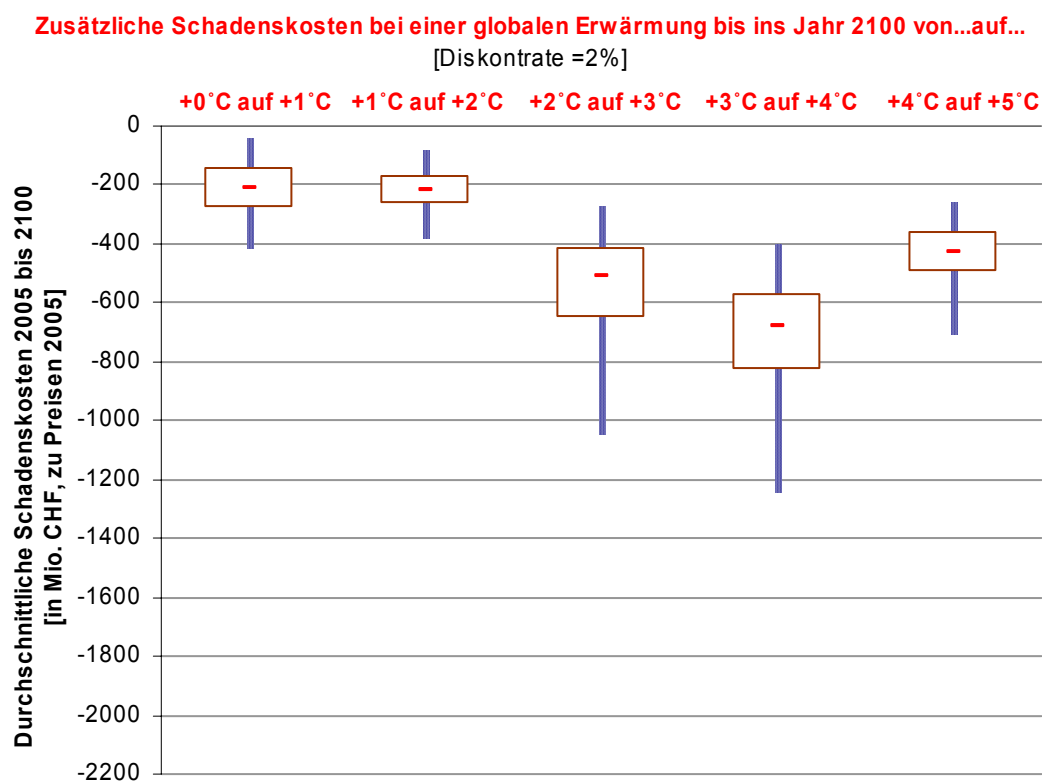
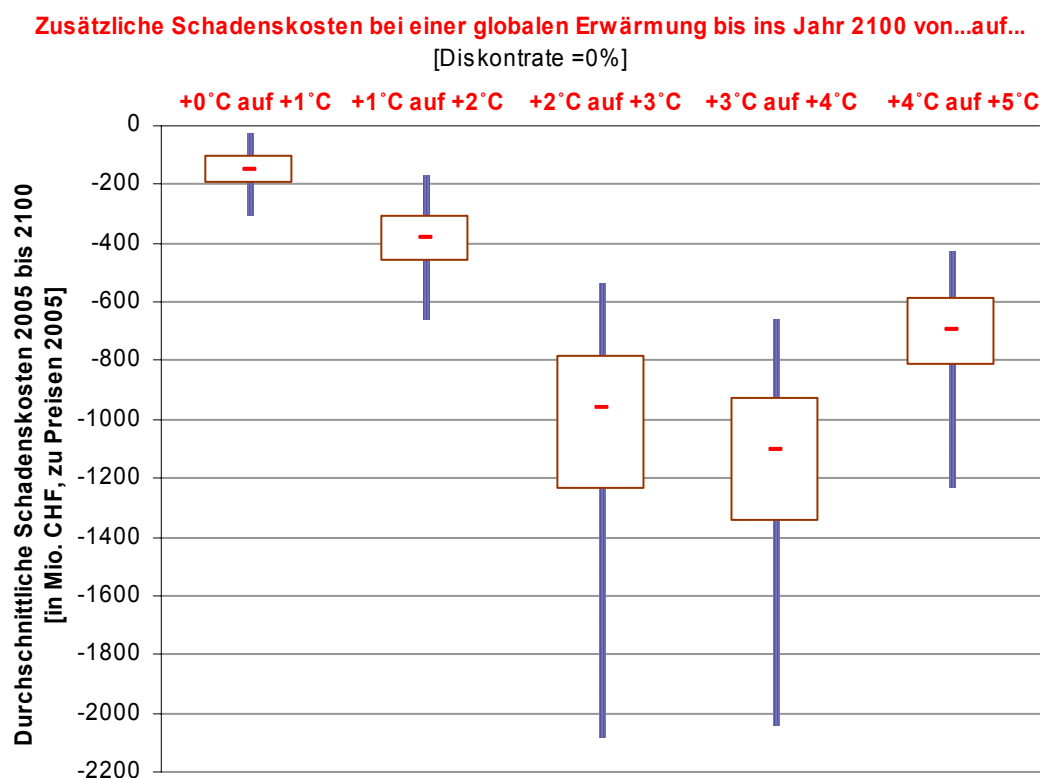
Die grössten Grenzschaadens sind für die Schweiz bei einer Erhöhung der globalen Temperatur bis 2100 von +2°C auf +3°C bzw. von +3°C auf +4°C zu erwarten. Die grössten Schäden – im Umfang von rund 1 Mrd. CHF (bei einer Diskontrate von 0%) - entstehen also in der Schweiz gerade in denjenigen Temperaturbereichen, von denen man sich erhofft, dass diese durch eine griffige, global koordinierte Klimapolitik vermieden werden können. Vereinfachend darf man also sagen, dass eine griffige Klimapolitik pro Grad vermiedene globale Erwärmung der Schweiz Schäden in der Grössenordnung von 1 Mrd. CHF/Jahr erspart (gilt bei einer Diskontrate von 0%). Unterstellt man eine Diskontrate von 2% (statt 0%), so liegen die klimapolitisch vermeidbaren Schäden statt bei 1 Mrd. CHF/Jahr bei rund 600 Mio. CHF/Jahr pro Grad weniger Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100.

Die Schäden nehmen ab einer Erwärmung von über 4°C zwar noch deutlich zu, der Grenzschaaden nimmt aber nicht mehr weiter zu. Der Rückgang des Grenzschaadens in der Schweiz als Folge einer globalen Temperaturerhöhung von +4°C auf +5°C im Vergleich zu einer globalen Erwärmung von +3°C auf +4°C ist darauf zurückzuführen, dass der Schaadenskostenverlauf in der Schweiz für eine globale Erwärmung von +4°C und +5°C bis 2070 sehr ähnlich verläuft (vgl. Grafik 7-8). Ab dem Jahr 2070 zeigen sich dann allerdings deutliche Unterschiede zwischen diesen beiden Schaadenskostenverläufen. Die ähnliche Entwicklung bis 2070 kann mit einer ähnlichen Entwicklung bei der Klimatisierung und den Schaadenskosten bei der menschlichen Gesundheit erklärt werden. Ein grosser Teil der Flächen ist bis 2070 in beiden Schaadensverläufen bereits klimatisiert. Die Schaadenskosten im Bereich der menschlichen Gesundheit haben bis 2070 bei beiden Schaadensverläufen einen Plafonds erreicht (wir haben unterstellt, dass diese Kosten nicht immer weiter steigen, da die Klimatisierung als Anpassungsmassnahme Gegensteuer hält). Dass die beiden Schadenverläufe nach 2070 wieder „auseinanderlaufen“ ist auf die stark wachsenden Schäden im Bereich Tourismus zurückzuführen.

Grafik 7-10: Durchschnittliche jährliche Schadenskosten bei globalen Temperaturerhöhungen von +1°C bis +5°C: Diskontrate = 0% und Diskontrate = 2%



Grafik 7-11 Grenzschadenskosten für die Periode 2005 bis 2100: : Diskontrate = 0% und Diskontrate = 2%



Der hier berechnete Rückgang der Grenzscha­denskosten bei einer globalen Temperaturerhöhung von über +4°C darf nicht dahingehend interpretiert werden, dass bei sehr hohen globalen Temperaturen die Schadenskosten nicht mehr weiter steigen. Der Schadensverlauf für globale Temperaturerhöhungen +4°C und +5°C nach dem Jahr 2070 zeigen dies sehr deutlich (vgl. Grafik 7-8). Weiter muss angemerkt werden, dass die Schadenskostenschätzungen für Temperaturerhöhungen von über +4°C sehr spekulativ sind, da wir hierzu teilweise grobe Extrapolationen vorgenommen haben.

7.2.2 Grenzscha­denskosten pro Tonne CO₂ bzw. C (illustrativ)

Dieses Kapitel dient rein illustrativen Zwecken. Es soll versucht werden einzuschätzen, ob die Schweiz im globalen Kontext über- oder unterdurchschnittlich von der Klimaänderung betroffen ist. Wir wollen dabei aber nicht die Gesamtschäden der Schweiz mit den globalen Schäden vergleichen, sondern die Grenzscha­den in einem Bereich, der klimapolitisch - realistischerweise - noch beeinflussbar ist. Wir können damit also darstellen, ob die Schweiz von griffigen, global koordinierten Klimapolitikmassnahmen über- oder unterdurchschnittlich profitieren kann.

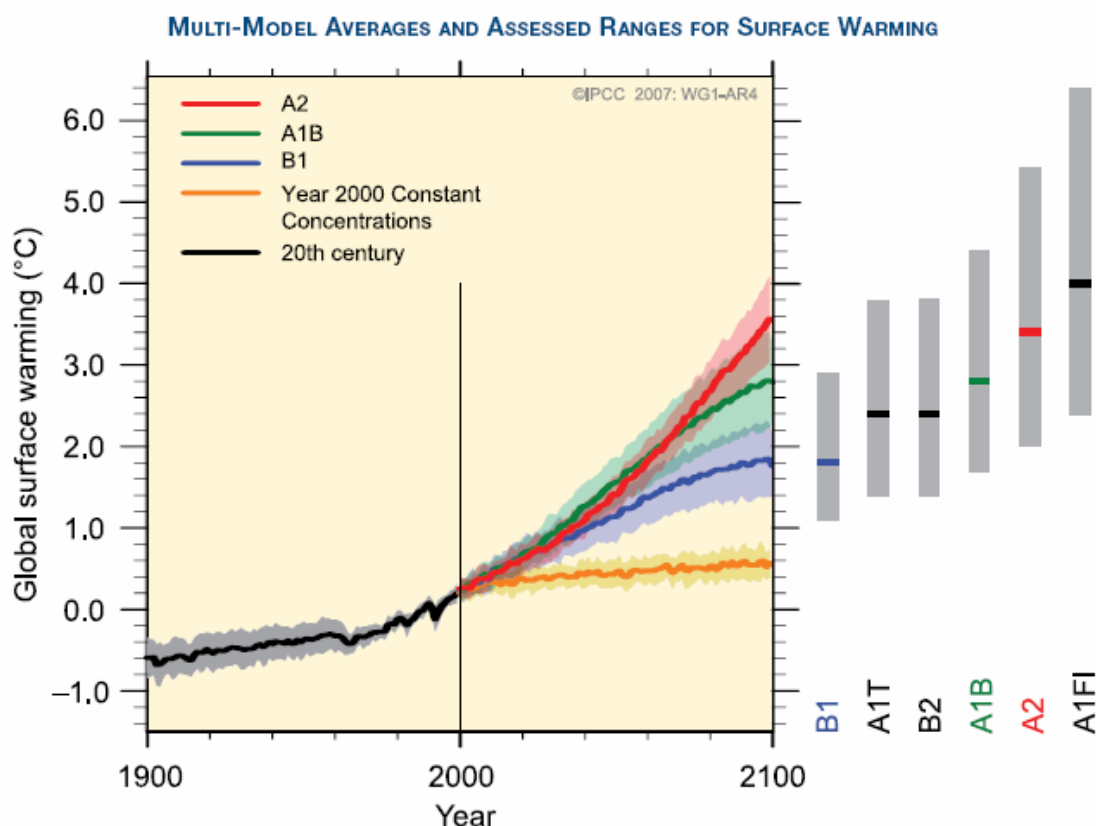
Das Kapitel hat darum nur illustrativen Charakter, weil wir sehr viele nicht im Detail diskutierte Annahmen treffen mussten und weil die Vergleichbarkeit von internationalen Studien – ohne Detailkenntnisse der einzelnen Studien - äusserst problematisch ist.

Globale Erwärmung bis 2100 um +2°C im Vergleich zu einer Erwärmung von +3°C

Wir gehen an dieser Stelle nicht auf die klimapolitischen Ziele ein. Uns interessiert hier einzig der Zusammenhang zwischen zusätzlichen CO₂-Emissionen und zusätzlicher globaler Erwärmung. Die Grafik 7-12 zeigt die globale Erwärmung für sechs SRES-Szenarien. Der IPCC Special Report of Emissions Scenarios unterscheidet vier Familien mit insgesamt 40 Szenarien. Die sechs in Grafik 7-12 dargestellten Szenarien werden in Tabelle 7-1 kurz vorgestellt.

Für die beiden Szenarien B1 und A1B beträgt die Temperaturdifferenz rund 1°C: In B1 erwärmt sich die Erde um +1.8°C und in A+B um 2.8°C. Für diese SRES-Szenarien sind die kumulierten CO₂-Emissionen von 1990 bis 2100 bekannt. Die Differenz der kumulierten CO₂-Emissionen 1990 bis 2100 beträgt 516 GtC. Wir unterstellen, dass diese Differenz auch für die Jahre 2005 bis 2100 gilt. Vereinfacht wird in der folgenden illustrativen Berechnung unterstellt, dass ein Grad globaler Erwärmung bis ins Jahr 2100 vermieden werden kann, wenn 516 GtC weniger ausgestossen wird. Die anderen Treibhausgasemissionen vernachlässigen wir in der folgenden illustrativen Betrachtung und beziehen die gesamten Grenzscha­denskosten auf die CO₂-Emissionen.

Grafik 7-12: Szenarien der globalen Erwärmung gemäss 4. Assessment-Report IPCC



Legende: Die durchgezogenen Linien zeigen die durchschnittliche globale Erwärmung aus verschiedenen Klimamodellen (bezogen auf die Referenztemperatur von 1980 bis 1999) für die Szenarien A2, A1B und B1. Die farbigen Bereiche zeigen die Bandbreite der Erwärmung (± 1 Standardabweichung). Die tiefe, orange Linie zeigt die globale Temperaturentwicklung unter der Annahme, dass die Konzentration der Treibhausgase auf dem Niveau 2000 bleiben würde. Die grauen Bereiche auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (Linie im grauen Bereich) und den wahrscheinlichen Bereich für 6 SRES-Szenarien.

Tabelle 7-1: Überblick über die SRES-Szenarien⁷³

Familie	A1			A2	B1	B2
	Hohes Wirtschaftswachstum, Bevölkerung wächst bis 2050 auf 9 Mrd. und nimmt dann ab, schnelle techn. Entwicklung, konvergente Entwicklung, starke soziale und interkulturelle globale Verflechtungen			Regional orientierte wirtsch. Entwicklung, kontinuierlich wachsende Bevölkerung, langsamerer technologischer Wandel, nationenbezogene Entwicklung	Hohes Wirtschaftswachstum (ähnlich A1), starke Durchdringung mit Informations-technologien, Bevölkerung wie A1, schneller techn. Wandel hinsichtlich effizienten Technologien, globale Lösungen	Langsamere wirtsch. Entwicklung, kontinuierlich wachsende Bevölkerung (langsamer als in A2), langsamerer techn. Wandel, Fokus auf lokalen statt globalen Lösungen
Szenario	A1FI	A1T	A1B	A2	B1	B2
	fossile Energien	erneuerbare	fossil + erneuerbar			
Bevölkerung in Mrd.						
1990	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
2050	8.7	8.7	8.7	11.3	8.7	9.3
2100	7.1	7.1	7.0	15.2	7.0	10.4
Globales BIP in 10 ¹² 1990US\$/Jahr						
1990	21	21	21	21	21	21
2050	164	181	187	82	136	110
2100	525	529	550	243	328	235
Kumuliertes Kohlendioxid in GtC						
1990 -2100	2189	1499	1068	1861	983	1164

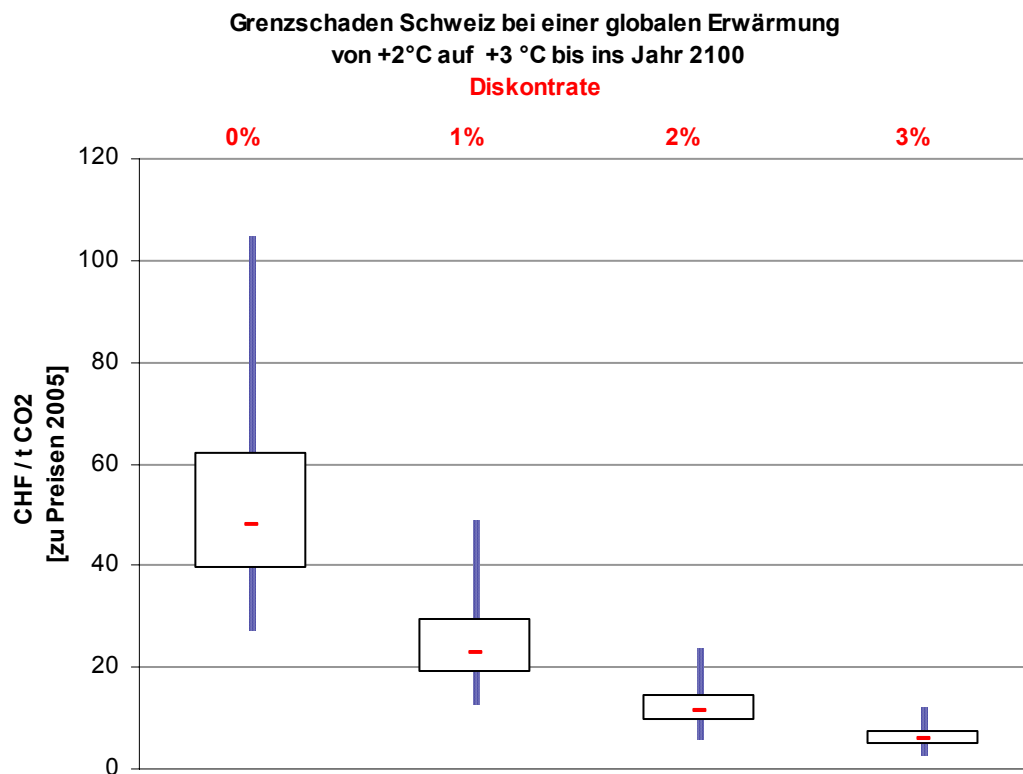
⁷³ Quelle: IPCC (2000), Special Report on Emissions Scenarios.

Grenzschaftenskosten bei einer globalen Erwärmung von 2 auf 3°C in CHF/t CO₂

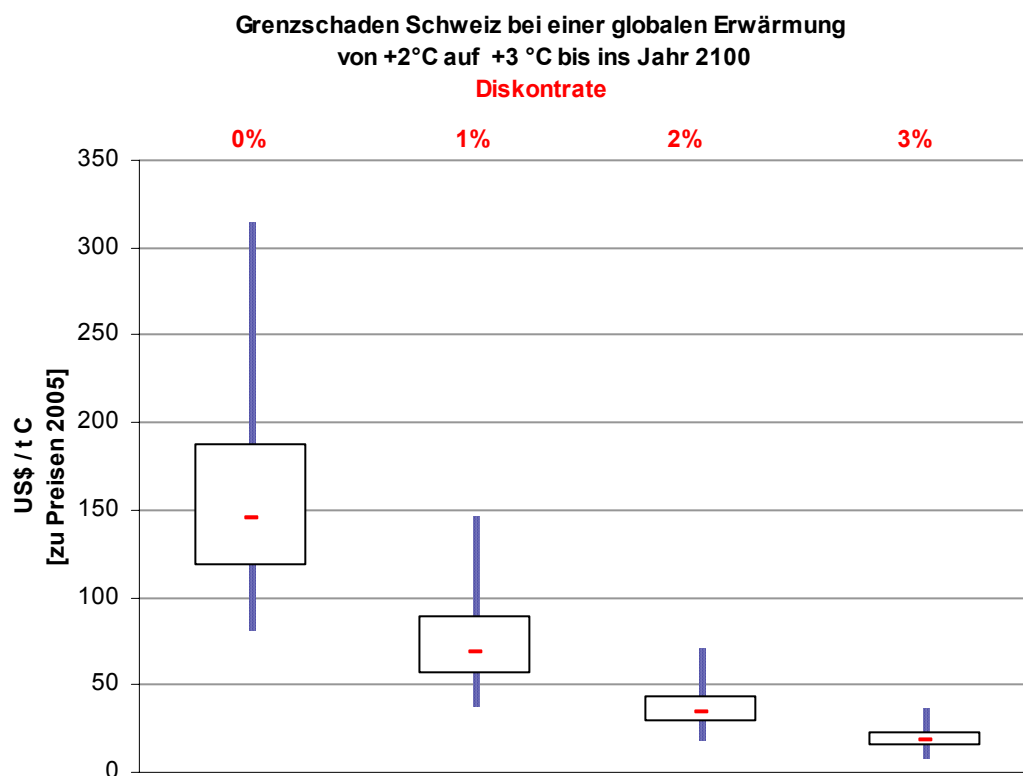
Für die Schweiz können eigentlich keine Grenzschaftenskosten bezogen auf emittierte Tonnen CO₂ berechnet werden, da die Schweizer CO₂-Emissionen die globale Erwärmung nur sehr marginal beeinflussen. Damit wir die Schweizer Grenzschaftenskosten in irgend einen Bezug zu den publizierten globalen Grenzschaftenskosten setzen können, machen wir folgendes Gedankenexperiment: Wir fragen uns, wie hoch die Grenzschaftenskosten wären, wenn die Schweizer pro-Kopf-Schäden für die gesamte Welt gelten würden. Vereinfachend gehen wir davon aus, dass die Schweizer Grenzschaften unter diesen Annahmen mit dem Faktor 1000 multipliziert werden (Anteil der Schweizer Bevölkerung an der Weltbevölkerung).⁷⁴ Die Grafik 7-13 zeigt die so berechneten Grenzschaften in CHF/t CO₂. Wie schon erwähnt sind die Grenzschaften von der Diskontrate abhängig. Die höchsten Grenzschaften werden bei einer Diskontrate von 0% berechnet. Der Median liegt bei knapp 50 CHF/t CO₂ mit einer Bandbreite von 25 bis 105 CHF/t CO₂. Bei einer Diskontrate von 2% liegen die Grenzschaften unter 25 CHF/t CO₂. Die Grafik 7-14 zeigt dieselben Grenzschaften, ausgedrückt in US\$/t C. Diese „Schweizer“ Grenzschaften werden in Grafik 7-15 mit verschiedenen internationalen Studien verglichen, welche einen Betrachtungshorizont bis 2100 oder 2150 aufweisen. Aus der Grafik 7-15 lassen sich keine Indizien dafür finden, dass die Schweiz im globalen Vergleich bzgl. der klimabedingten Schäden über- oder unterdurchschnittlich betroffen wäre von einer zusätzlichen globalen Erwärmung von 2 auf 3°C bis ins Jahr 2100. Oder anders ausgedrückt: Die Schweiz würde hinsichtlich den klimabedingten Schäden von einer globalen Klimapolitik, der es gelingt, die globale Erwärmung bis 2100 von 3 auf 2°C zu senken, im globalen Vergleich weder über- noch unterdurchschnittlich profitieren. Zu beachten sind bei diesen sehr vorsichtigen Aussagen Folgendes: (1) Die Aussagen beziehen sich nur auf die Schäden, die Vermeidungskosten sind hier ausgeklammert, (2) Die Aussagen beziehen sich auf den globalen „Durchschnitt“, einzelne Länder werden schadensseitig massiv stärker bzw. weniger stark betroffen sein.

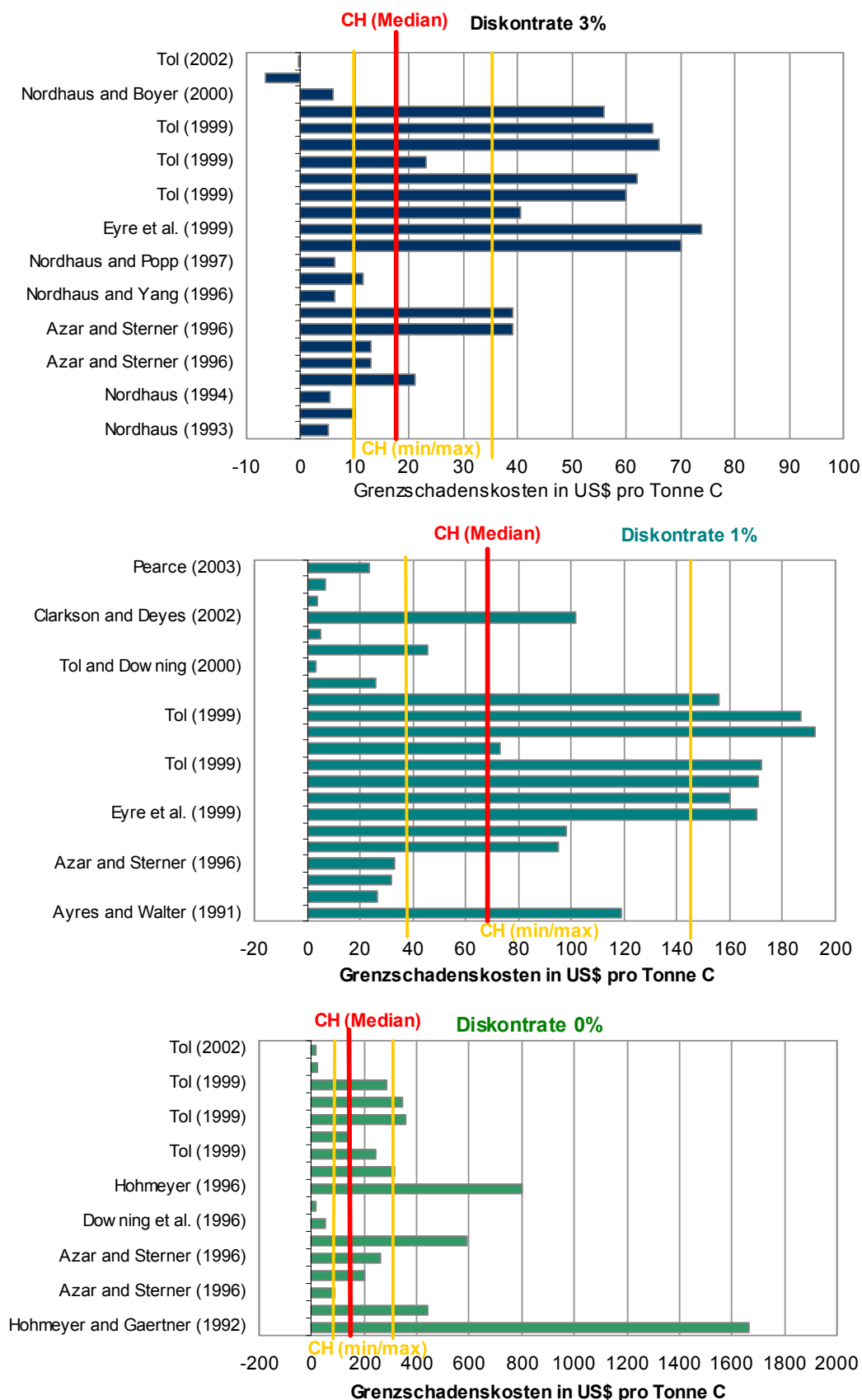
⁷⁴ Andere Hochrechnungen (bspw. via BIP) wären möglich, sollen aber hier nicht diskutiert werden, da dieses Kapitel rein illustrativen Charakter hat und nur dazu dienen soll, grob abzuschätzen, ob die Schweiz von einer zusätzlichen globalen Erwärmung oder – anders ausgedrückt – von einer global koordinierten Klimapolitik unter- oder überdurchschnittlich profitiert im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden.

Grafik 7-13: Grenzsadenskosten „für die Schweiz“ (Periode 2005 bis 2100) bei einer globalen Temperaturerhöhung von +2°C auf +3°C in CHF/t CO₂ (illustrativ)



Grafik 7-14: Grenzsadenskosten „für die Schweiz“ (Periode 2005 bis 2100) bei einer globalen Temperaturerhöhung von +2°C auf +3°C in US\$/t C (illustrativ)



Grafik 7-15: Grenzschaftskosten: Vergleich mit internationalen Studien (illustrativ)

7.3 Zusammenfassende Würdigung

Das Ziel des vorliegenden Ecoplan-Berichts ist die Abschätzung der direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft. Welche Auswirkungen der Schweiz aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten erwachsen, wird in einer parallelen Studie durch die Arbeitsgemeinschaft Infrac / Ecologic / Rütter+Partner analysiert. Einzig bei den Kosten im Tourismus wurde in dieser Studie die Verflechtung über die internationalen Märkte berücksichtigt.

7.3.1 Wichtigste Erkenntnisse

Klimabedingte Folgeschäden sind bis 2050 moderat und steigen bis 2100 deutlich an

Bis 2030 sind kaum klimabedingte Schäden grösseren Ausmasses zu erwarten. Die nachfolgend ausgewiesenen klimabedingten Schäden sind jährliche Schäden. Bis zum Jahr 2050 steigt der mittlere Erwartungsschaden auf 0.15 BIP% pro Jahr (Schaden in % des BIP im Jahre 2050, vgl. Grafik). Die Schadenskosten steigen nach 2050 deutlich an. Der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 liegt bei 0.48 BIP% pro Jahr (Schaden in % des BIP im Jahre 2100). Betrachtet man die gesamte Periode von 2005 bis 2100, so berechnet sich der durchschnittlich jährlich zu erwartende Schaden (Median) auf rund 1 Mrd. CHF (zu heutigen Preisen) – dies bei einer Diskontrate von 2%.

Grosse Unsicherheit bei der Berechnung der Folgeschäden

Die Unsicherheit bei der Berechnung der Folgeschäden ist beträchtlich und äusserst sich in einer relativ grossen Bandbreite der möglichen Schäden: Für das Jahr 2050 reicht die Bandbreite von Nahe 0 bis zu einem Schadensmaximum von knapp 0.6 BIP%. Im Jahr 2100 reicht die Bandbreite der möglichen Schäden von bescheidenen 0.15 BIP% bis zu massiven Schäden von knapp 1.6 BIP%. Die Unsicherheit der klimabedingten Schäden kann zu mehr als 40% auf die unsichere Temperaturentwicklung zurückgeführt werden. Die restlichen 60% ergeben sich aus den unsicheren Monetarisierungsannahmen.

Tourismus und Energiebereich am meisten von Klimaänderung betroffen

Der mittlere Erwartungsschaden ist im *Energiebereich* am grössten, dies trotz den positiven Effekten aufgrund von wärmeren Wintern und weniger Heizenergiebedarf (vgl. Grafik 1-4). Für die negativen Auswirkungen im Energiebereich sind vor allem die Verluste bei der Stromproduktion in Wasserkraftwerken und die vermehrte Klimatisierung im Wohn- und Arbeitsbereich verantwortlich. Die stark steigenden Ausgaben für die Klimatisierung sind als Anpassungskosten zu verstehen, die verhindern, dass vor allem im Bereich der menschlichen Gesundheit nicht grössere Schäden entstehen. Der mittlere Erwartungsschaden im *Tourismusbereich* liegt zwar unter demjenigen für Energie, aber die Bandbreite der Unsicherheit ist grösser. Im Tourismusbereich ist zu erwähnen, dass die Anpassungskosten und auch die positiven Auswirkungen aufgrund der verbesserten internationalen Standortattraktivität im Sommertourismus nicht berücksichtigt wurden. Im Bereich der *menschlichen Gesundheit* (klimabedingte vorzeitige Sterbefälle und Leistungseinbussen im Arbeitsprozess) sind erst nach dem Jahr 2050 spürbare Schäden zu erwarten. Allerdings nehmen diese dann bis zum Jahr 2100 relativ rasch zu. Der erwartete Schaden bei den *Bauten und der Infra-*

struktur ist vor allem auf Hochwasser/Überschwemmungen und Murgänge zurückzuführen und ist im Vergleich zu den anderen Schadensbereichen aber gering.

Grosse Umwälzung trotz relativ moderaten klimabedingten Schäden

Die durchschnittlich zu erwartenden Schäden sind zwar moderat. Dies darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass erstens eine beträchtliche Unsicherheit besteht und dass zweitens - trotz moderater Schäden - beträchtliche klimabedingte Umwälzungen in einzelnen Wirtschaftssektoren folgen werden (u.a. Umgestaltung der Stromproduktion, Umgestaltung und Neuorientierung im Tourismusbereich). Werden die nötigen Umgestaltungen und Neuorientierung nicht oder verzögert vorgenommen (bspw. Strukturerhaltung), so werden die volkswirtschaftlichen Schäden höher ausfallen.

Aktuelle Schadensschätzung liegt unter den bisherigen Schätzungen

Im Vergleich zum vorliegend berechneten Erwartungsschaden für das Jahr 2050 von 0.15 BIP% lagen die Schätzungen für die klimabedingten Schäden Mitte der 90er-Jahre (NFP31-Studie) mit 0.6 bis 0.8 BIP% deutlich höher. Der in der NFP31 ausgewiesene klimabedingte Schaden für das Jahr 2050 liegt im Bereich der Schäden, der in der vorliegenden Studie für das Jahr 2100 berechnet wird. Die Differenzen sind auf neuere Grundlagenstudien zurückzuführen, die in einzelnen Schadensbereichen zu einer differenzierteren Einschätzung geführt hat.

Eine griffige, global koordinierte Klimapolitik spart der Schweiz Schäden im Umfang von 0.6 bis 1 Mrd. CHF pro Jahr und pro Grad vermiedene globale Temperaturerhöhung

Die grössten zusätzlichen Schäden sind für die Schweiz bei einer Erhöhung der globalen Temperatur bis 2100 von +2°C auf +3°C bzw. von +3°C auf +4°C zu erwarten. Die grössten Schäden – im Umfang von durchschnittlich jährlich rund 0.6 Mrd. CHF (bei einer Diskontrate von 2%, für die Periode 2005 bis 2100) - entstehen also in der Schweiz gerade in denjenigen Temperaturbereichen, von denen man sich erhofft, dass diese durch eine griffige, global koordinierte Klimapolitik vermieden werden können. Unterstellt man eine Diskontrate von 0% (statt 2%), so liegen die klimapolitisch vermeidbaren durchschnittlichen Schäden statt bei 0.6 Mrd. CHF/Jahr bei rund 1 Mrd. CHF/Jahr pro Grad weniger Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100. Vereinfachend darf man also sagen, dass eine griffige Klimapolitik pro Grad vermiedene globale Erwärmung der Schweiz Schäden in der Grössenordnung von 0.6 bis 1.0 Mrd. CHF/Jahr erspart.

Die Schweiz ist im globalen Kontext aus ökonomischer Sicht weder über- noch unterdurchschnittlich betroffen

Die globale Temperatur steigt gemäss den IPCC-Szenarien um mindestens 2°C bis 2100. Eine Erwärmung bis 2100 auf 3°C würde zusätzliche Schäden verursachen. Vergleicht man die zusätzlichen Schäden der Schweiz mit den in verschiedensten Studien berechneten zusätzlichen globalen Schäden, so ist die Schweiz von dieser zusätzlichen Erwärmung weder über- noch unterdurchschnittlich betroffen. Oder anders ausgedrückt: Die Schweiz würde hinsichtlich den klimabedingten Schäden von einer globalen Klimapolitik, der es gelingt, die globale Erwärmung bis 2100 von 3 auf 2°C zu senken, im globalen Vergleich weder über- noch unterdurchschnittlich profitieren. Zu beachten ist bei diesen sehr vorsichtigen Aussagen

Folgendes: (1) Die Aussagen beziehen sich nur auf die Schäden, die Vermeidungskosten sind hier ausgeklammert, (2) Die Aussagen beziehen sich auf den globalen „Durchschnitt“, einzelne Länder werden schadensseitig massiv stärker bzw. weniger stark betroffen sein.

Für die Schweiz ist die Klimaänderung wirtschaftlich verkraftbar – andere Motive stehen im Vordergrund

Die zu erwartenden direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft sind bis zum Jahr 2050 relativ moderat, steigen danach aber relativ kräftig an. Für die Schweiz ist die Klimaänderung bei einer entsprechenden Anpassungsstrategie wirtschaftlich verkraftbar. Die Motivation für eine Schweizer Klimapolitik muss sich daher – neben der „eigennützigen“ Schadensvermeidung im eigenen Lande - aus unserer Sicht vor allem auf die folgenden drei Punkte stützen: (1) „Absicherung / Versicherung“: Die Unsicherheiten bzgl. den Auswirkungen der Klimaänderungen sind gross, katastrophale Entwicklungen (globale Kippeffekte) sind zwar unwahrscheinlich aber nicht ganz auszuschliessen. Eine wirksame Klimapolitik kann als „Versicherung“ gegen solche Ereignisse motiviert sein. (2) Internationale Gerechtigkeit bzw. allgemeiner internationale Verteilung: Die Klimaänderung betrifft die ärmsten Länder am meisten. Verursacher der Klimaänderung sind vor allem die heutigen und aufstrebenden Industrieländer. Klimapolitik kann einen Beitrag zu einer „gerechteren“ Welt leisten. (3) Intergenerationelle Gerechtigkeit bzw. allgemeiner intergenerationelle Verteilung: Heutiges Wirtschaften kann die Möglichkeiten künftiger Generationen einschränken. Klimapolitik kann auch unter diesem Aspekt motiviert sein.

7.3.2 Nicht berücksichtigte und zu vertiefende Aspekte

Die vorliegende Studie stützt sich auf den OcCC-Bericht 2007 und damit im Wesentlichen auf den Stand des Wissens gemäss IPCC. Folgende Effekte konnten im Rahmen dieser Studie **nicht berücksichtigt** werden:

- *Indirekte Schadenskosten*: Die Schätzung der klimabedingten Schäden beschränkt sich auftragsgemäss auf die direkten Schadenskosten. Die indirekten Effekte, welche Preise bzw. Märkte oder allgemeiner das wirtschaftliche Wachstum beeinträchtigen, wurden nicht berücksichtigt. Rückkoppelungen aus der internationalen wirtschaftlichen Verflechtung sind ebenfalls nicht berücksichtigt.
- *Globale Kippeffekte*: Es wurde unterstellt, dass es bspw. keine starke Abschwächung der nordatlantischen Zirkulation oder ähnlich dramatische Vorkommnisse geben wird.
- *Katastrophale Ereignisse*: Nicht berücksichtigt sind Extremereignisse, welche bisher bekannte Grössenordnungen bei Weitem überschreiten.
- *Landschaftsveränderungen*: Landschaftsveränderungen wurden nicht bewertet (betrifft vor allem den Gletscherrückgang).
- *Auswirkungen auf die Ökosysteme*: Auch die Auswirkungen auf die Ökosysteme (sowohl positive wie negative) wurden im Rahmen dieser Studie nicht thematisiert.

- *Suboptimaler Anpassungspfad:* Die vorliegenden Berechnungen gehen von der Annahme aus, dass die notwendigen Anpassungsstrategien zur Verminderung der negativen Auswirkungen rechtzeitig eingeleitet werden. Welche Hindernisse sich hier ergeben, wurde nicht thematisiert.

Vertiefende Analysen wären aus unserer Sicht in folgenden Bereichen angebracht:

- *Von den direkten zu den indirekten Schäden:* Grundsätzlich wäre es interessant, ähnlich wie beim Wintertourismus, nicht nur die direkten, sondern auch die indirekten Schäden und die Wachstumseffekte zu analysieren. In diesem Zusammenhang könnten auch die Effekte aus der internationalen wirtschaftlichen Verflechtung in die Analyse (bspw. mit einem dynamischen Mehrländer-Gleichgewichtsmodell) miteinbezogen werden.
- *Sommertourismus:* Der alpine Sommertourismus dürfte – klimabedingt – gewisse Standortvorteile (verbesserte Konkurrenzsituation) bieten, die in der vorliegenden Studie noch nicht erfasst wurden.
- *Wintertourismus:* Die Verteuerung des Wintertourismus aufgrund klimabedingter Infrastrukturanpassungen konnte im Rahmen dieser Studie nicht abgeschätzt werden. Eine Ergänzung mit diesen Anpassungskosten wäre wünschenswert. Weiter wären auch die Auswirkungen auf den Kapitalaufbau zusätzlich zu berücksichtigten (Dynamisierung des statischen Modellansatzes). Weitere Vertiefungen wären wünschenswert (bspw. Trennung Tages- und Ferientourismus)
- *Katastrophale Ereignisse und Ausdehnung des Betrachtungshorizonts bis über das Jahr 2100 hinaus:* Bei der vorliegenden Abschätzung haben wir uns auf bekannte Extremereignisse abgestützt und über die geänderte Häufigkeit dieser Extremereignisse die Schäden abgeschätzt. Im Sinne von „worst case“-Szenarien könnten zusätzlich Extremereignisse von heute nicht bekannter Grössenordnungen abgeschätzt werden. Können zu solch katastrophalen Ereignissen auch Hypothesen bezüglich ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit gemacht werden, so wäre es u.U. möglich diese katastrophalen Ereignisse auch monetär zu bewerten.⁷⁵ Sinnvollerweise wäre wohl auch der Betrachtungshorizont weiter auszudehnen, da solche katastrophalen Ereignisse vermutlich erst bei einer sehr massiven globalen Erwärmung – also nach 2100 – zu erwarten wären.
- *Vertiefung in einzelnen Bereichen:* Aus klimatologischer Sicht sind über die zukünftige Entwicklung von Trockenheit, Waldbränden, Föhn, Winterstürmen, Hagel und Lawinen im Moment keine spezifischen Aussagen möglich. Sollten sich zu einzelnen dieser Extremereignisse neue Erkenntnisse ergeben, so wären diese bei der Monetarisierung im Bereich der Bauten und Infrastruktur (inkl. Mobilien wie Fahrzeuge) ebenfalls näher zu untersuchen (v.a. bei einer Zunahme der Hagelereignisse ist mit grössere zusätzlichen Schäden, die monetär von Bedeutung sind, zu rechnen).

⁷⁵ Allenfalls könnten auch indirekt berechnete Zahlungsbereitschaften bestimmt werden (bspw. analog Nordhaus).

Im Schadensbereich Energie und menschliche Gesundheit wären vor allem die Wechselwirkungen zwischen vermehrter Klimatisierung und klimabedingter Leistungseinbusse bzw. erhöhter Mortalität von Interesse.

Auf eine Monetarisierung der klimabedingten Schäden und Nutzen im Bereich Landwirtschaft wurde im Rahmen dieser Studie verzichtet. Grundsätzlich wäre es denkbar, diesen Bereich ebenfalls zu erfassen, wobei hier die Unsicherheiten aber vermutlich deutlich grösser sind als in den übrigen monetarisierten Bereiche (Annahmen zur Bedeutung der Landwirtschaft in 100 Jahren und über mögliche Anpassungsmassnahmen müssten getroffen werden).

Literaturverzeichnis

Basics (2006)

Der Energieverbrauch der Industrie 1990-2035. Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. Studie im Auftrag des BFE. Zürich.

Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.) 2007

Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707. Bern. Birmendorf.

BFS (2001)

Szenarien zu Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2000-2060. Neuchâtel.

BFS (2006)

Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Neuenburg.

BFS Bundesamt für Statistik (2005)

Reiseverhalten der schweizerischen Wohnbevölkerung 2003. Modul Tourismus der Einkommens- und Verbrauchserhebung 2003 (EVE03). Neuenburg.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2005)

Weiterentwicklung des Luftreinhalte-Konzepts. Stand, Handlungsbedarf, mögliche Massnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 379. Luft. Bern.

Bundesamt für Wasser und Geologie (2000a)

Hochwasser 1999 – Analyse der Ereignisse. Studienbericht Nr. 10. Biel.

Bundesamt für Wasser und Geologie (2000b)

Hochwasser 1999 – Analyse der Messdaten und statistische Einordnung. Hydrologische Mitteilungen Nr. 28. Bern.

BWG - Bundesamt für Wasser und Geologie (2000)

Hochwasser 1999, Analyse der Ereignisse. Studienbericht Nr. 10 des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Biel.

CEPE (2007)

Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 – 2035. Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Zürich.

Dasgupta Partha (2006)

Comments on the Stern Review's Economics of Climate Change.

Ecoplan (2007)

Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, mit Anhang über die externen Kosten des Energiesektors.

Ecoplan / Infrac / ISPM (2004)

Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung, des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamts für Energie sowie des Bundesamts für Gesundheit. Bern.

Electrowatt-Ekono (2004)

Ausbaupotenzial der Wasserkraft. Studie im Auftrag des BFE. Zürich.

FIF - Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus (2007)

Klimaänderung und Tourismus. Szenarienanalyse für das Berner Oberland 2030.

Flückiger St. D. (1996)

Klimaänderungen: Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihrem Umfeld aus globaler, nationaler und regionaler Sicht. Dissertation ETH Nr. 11276. Zürich.

Frei C. (2004)

Die Klimazukunft der Schweiz – Eine probabilistische Projektion. 2004. (www.occ.ch/Products/CH2050/CH2050-Scenarien.pdf).

Grize L, Huss A., Thommen O., Schindler Ch. Braun-Fahrländer Ch. (2005)

Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, In: Swiss MED WKLY 2005; 135: p 200-205.

HYDRAM - Laboratoire Hydrologie et Aménagements der EPFL (2005)

Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SRES emission scenarios for two future time periods. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Lausanne.

Infrac/Ecologic/Rütter+Partner AG (2007)

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (internationale Einflüsse). Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Zürich.

IPCC (2000)

IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Working Group III. Summary for Policymakers. ISBN: 92-9169-113-5.

IPCC (2001)

Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Contribution of Working Group II to the Third Scientific Assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.

Kirchner A., Piot M., Rits V. (2007)

Kälte- und Hitzewellen. In: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. 12. Exkurs. Bern.

KLIWA (2006)

Unser Klima verändert sich (Folgen – Ausmass – Strategien): Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Süddeutschland. Karlsruhe und Augsburg.

- KOHS - Kommission Hochwasserschutz im Schweiz. Wasserwirtschaftsverband (2007)
Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen
Wasserwirtschaftsverband, in: Wasser-Energie-Luft, Baden. Heft 1/2007.
- Meier Ruedi (1998)
Sozioökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der
Schweiz. Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms
„Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP31. vdf, Hochschulverlag AG an der
ETH. Zürich.
- Meyer Lukas, Roser Dominic (2007)
Intergenerationelle Gerechtigkeit – Die Bedeutung von zukünftigen Klimaschäden für die
heutige Klimapolitik. Studie im Auftrag des Bafu. Bern und Zürich.
- Nordhaus William (2006)
The Stern Review on the Economics of Climate Change.
- OcCC (2003)
Extremereignisse und Klimaänderung. Bern.
- OcCC (2007)
Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt,
Gesellschaft und Wirtschaft. Hrsg. OcCC / ProClim. Bern.
- OECD/Abegg (2007)
Climate Change in the Alps, Adapting Winter Tourism and Natural Hazards
Management. Hrsg. Shardul Agrawala. Autor des relevanten Chapters 2: Bruno Abegg.
Paris.
- Pfister C. (Ed.) (2002)
Am Tag danach – Zur Bewältigung von Naturkatastrophen in der Schweiz 1500–2000.
Haupt Verlag. Bern, Stuttgart, Wien.
- Piot M. (2007)
Einfluss der Klimaerwärmung auf das Energiesystem. In: Die Energieperspektiven 2035
– Band 4 Exkurse. 3. Exkurs. Bern.
- Prognos (2003)
Einfluss der Temperatur- und Globalstrahlungsschwankung auf den Energieverbrauch
der Gebäude. Studie im Auftrag des BFE. Basel.
- Prognos (2006)
Energieverbrauch der privaten Haushalte 1990-2035. Ergebnisse der Szenarien I bis IV
und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. Studie im
Auftrag des BFE. Basel.
- Prognos (2007a)
Die Energieperspektiven 2035 – Band 5. Analyse und Bewertung des
Elektrizitätsangebots. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Entwurf 23.3.2007.
Basel

- Röthlisberger G. (1991)
Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Nr. 330. Birmensdorf
- Rütter H., Guhl D., Müller H.R. (1995)
Tourismus im Kanton Bern. Wirtschaftsstruktur, Reiseverhalten, Wertschöpfung. Kurzfassung. Studie im Auftrag der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern. Bern.
- Stern N. (2006)
The Stern Review on the Economics of Climate Change. Cabinet Office. HM Treasury, United Kingdom.
- STV – Schweizer Tourismus-Verband (2002)
Schweizer Tourismus in Zahlen 2002. Bern.
- Tol Richard S. J. (2006)
The Stern Review of the Economics of Climate Change: A Comment.
- Tol Richard S.J. (2005)
Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. Environmental Science & Policy 8 (2005) 572-578. Elsevier.
- Tol Richard S.J. (2005)
The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. In: Energy Policy 33 (2005) 2064-2074.
- Tol Richard S.J., Fankhauser Samuel, Smith Joel B. (1998)
The scope for adaptation for climate change: what can we learn from the impact literature? In: Global Environmental Change, Vol. 8, No. 2, pp 109-123. Elsevier. Great Britain.
- Tol Richard S.J., Yohe Gary W. (2007)
The Stern Review: A Deconstruction.
- UVEK – Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (2001)
Touristische Transportanlagen der Schweiz. TTA-Statistik, 6. Auflage. Bern.
- WWF Deutschland (2007)
Kosten des Klimawandels. Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Frankfurt am Main.
- Yohe Gary W. (2006)
Some thoughts on the damage estimates presented in the Stern Review – An Editorial. In: The Integrated Assessment Journal. Vol. 6, Iss. 3 (2006), pp. 65.72.
- Z'graggen L. (2006)
Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 212.